



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**VÝVOJ SKLOBETONŮ S VYSOKÝMI
MECHANICKÝMI VLASTNOSTMI**

DEVELOPMENT GLASS-CONCRETE OF WITH HIGH MECHANICAL PROPERTIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Plochý

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Ondřej Plochý
Název	Vývoj sklobetonů s vysokými mechanickými vlastnostmi
Vedoucí práce	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Odborné zahraniční i tuzemské časopisy, sborníky, internetové zdroje odborných publikací z daného oboru.

Diplomové práce vypracované na ÚTHD FAST Brno v období 2012 – 2016.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V současné výrobě cementových prefabrikátů je na firmy, které exportují své výrobky do zahraničí ale i na tuzemský trh neustále vyvíjen tlak ze strany odběratelů na zvyšování nároků na stavební výrobky. Firmy na tyto podmínky musí reagovat a být tak v neustálém vývoji. Jinak to není ani u sklovláknobetonu (Glass Fiber Reinforced Concrete - GFRC). Důkladným výběrem vstupních surovin (vlákna, přísady) a správně zvolenou technologií výroby se často dají požadované vlastnosti splnit. V úvahu přichází i polymercementové matrice.

Cílem Vaší diplomové práce bude vypracovat podrobnou rešerši vztahující se k výrobě sklovláknobetonu (GFRC). Zaměřte se na vlastnosti a druhy vstupních surovin nutné pro výrobu GFRC a vlastnosti výrobků. Hlavně se zaměřte na popis skelných vláken a jejich životnost, délky, průměry a meze v dávkování. Popište možné technologie výroby sklovláknobetonových výrobků, zejména stříkaných dílců. Zmapujte užití výrobků ve stavební praxi.

V experimentální části bude cílem zvýšit mechanické vlastnosti betonu a to pevnosti v tahu za ohybu nad 20 MPa. Ověřte možnosti změny vstupních surovin v reálných podmínkách společnosti DAKO Brno, spol. s r.o. za účelem zvýšení pevnosti v tahu za ohybu. Především ověřit možnosti užití stavební chemie jako jsou superplastifikační přísady, polymercementové matrice nebo změna typu či dávky vlákna. Vlastnosti vstupních surovin jsou velmi závažným faktorem ovlivňující mechanické vlastnosti výsledného materiálu. Mechanické vlastnosti ověřte ve stáří 7 a 28 dnů.

Rozsah: min 70 stran

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce shrnuje dosavadní poznatky vztahující se k navrhování a vlastnostem sklovláknobetonových výrobků. Dále se zabývá návrhem nové receptury pro firmu Dako spol. s.r.o. Je zde ověřen vliv změn vstupních surovin v reálných podmínkách společnosti za účelem zvýšení pevnosti v tahu za ohybu nad požadovanou hranici 20 MPa. Především ověření možnosti užití stavební chemie jako jsou superplastifikační přísady, polymercementové matrice nebo změna typu či dávky skelného vlákna.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sklo, sklovláknobeton, vlákna, skelná vlákna, vláknobeton, čtyřbodový ohyb, pevnost v tahu za ohybu, premix, stříkaný sklovláknobeton.

ABSTRACT

This master thesis summarizes the current knowledge regarding the design and properties of glass fiber reinforced concrete products. It also deals with the design of a new concrete recipe for Dako spol. s.r.o company. There is verified effect of changes in input materials in real conditions the company to increase tensile bending strength above 20 MPa. In particular, verification of the use of building chemistry like superplasticizing additives, polymer-cement matrix or a change type or dose of glass fiber.

KEYWORDS

Glass, glass fiber reinforced concrete, fibers, glass fibers, fiber reinforced concrete, four-point flexural test, tensile bending strength, premix, spray glass fiber reinforced concrete.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Ondřej Plochý *Vývoj sklobetonů s vysokými mechanickými vlastnostmi*. Brno, 2017. 86 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 12. 2017

Bc. Ondřej Plochý

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této práce, panu prof. Ing. Rudolfu Helovi, CSc., za odborné vedení a cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále firmě Dako spol. s.r.o. za možnost spolupráce na reálném projektu.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíl diplomové práce.....	11
3	Sklo.....	12
3.1	Základní typy skla.....	12
4	Skelná vlákna.....	13
4.1	Vlastnosti skelných vláken.....	13
4.2	Alkalirezistence skelných vláken.....	13
4.3	Dávkování skelných vláken	14
4.4	Výroba skelných vláken.....	15
4.5	Karcinogenita skelných vláken	18
5	Sklovláknobeton	19
5.1	Výhody sklovláknobetonu	19
5.2	Základní výrobky ze sklovláknobetonu	20
5.3	Princip vyztužení.....	20
6	Vstupní suroviny na výrobu sklovláknobetonu	23
6.1	Portlandský cement vyšších pevnostních tříd	23
6.2	Jemnozrnný křemičitý písek	23
6.3	Alkalivzdorná skelná vlákna.....	24
6.4	Přísady a příměsi	24
6.5	Voda	24
6.6	Separční prostředky	24
7	Přísady do sklovláknobetonu	25
7.1	Plastifikační přísada	25
7.2	Hydrofobizační přísady	27

7.3	Odpěňovací přísada.....	28
7.4	Polymerní přísada.....	28
8	Technologie výroby sklovláknobetonu.....	31
8.1	Technologie premix	31
8.2	Technologie stříkání.....	33
9	Zařízení potřebné pro výrobu sklovláknobetonu	36
9.1	Typické uspořádání výrobní haly.....	36
9.2	Manipulace s výrobky	36
9.3	Formy	37
9.4	Výrobní zařízení.....	37
9.5	Zařízení na zajištění kontroly kvality.....	40
10	Praktická část	43
10.1	Popis referenční receptury	43
10.2	Vývoj nové receptury	44
10.3	Výsledky vývoje nové receptury	55
10.4	Ověření výsledků ve výrobě.....	67
10.5	Souhrnné výsledky	73
10.6	Diskuze	75
11	Závěr	78
12	Zdroje.....	79
13	Seznam obrázků, tabulek, grafů a rovnic.....	82
13.1	Seznam obrázků.....	82
13.2	Seznam tabulek.....	83
13.3	Seznam grafů	84
13.4	Seznam rovnic	85

1 Úvod

Popularita sklovláknobetonových výrobků v posledních letech prudce vzrostla. Stále více architektů, investorů, projektantů ale i laická veřejnost objevuje všestrannost, pevnost a nadčasově čistý design sklovláknobetonových výrobků.

Technologie vyztužení jemnozrnné cementové matrice skelnými vlákny umožňuje vytváření tenkých, lehkých, trvanlivějších a složitých prvků. Mnoho výrobců se chytilo šance relativně snadné výroby sklovláknobetonu. Avšak úspěch výroby kvalitního sklovláknobetonu, vyžaduje pochopení principu fungování jednotlivých surovin v celkovém kompozitu, technologii zrání, vyztužení a také jeho materiálové omezení.



Obrázek 1 Obkladové dílce ze sklovláknobetonu (realizace Dako) [9]

2 Cíl diplomové práce

Cílem této diplomové práce bude vypracovat podrobnou rešerši vztahující se k výrobě sklovláknobetonu (GFRC). Tyto doposud známé informace pochopit a použít tak, aby pomohly firmě Dako Brno, spol. s r.o. dosáhnout výsledků požadující neustále se vyvíjející tuzemský i zahraniční trh. Dále se zaměřit na vlastnosti a druhy vstupních surovin nutné pro výrobu GFRC. A ověřit možnosti změny vstupních surovin v reálných podmínkách společnosti.

3 Sklo

Sklo bylo objeveno kolem roku 3 000 př. n. l. v Egyptě. Zpočátku bylo velmi nečisté, sklo, jak ho známe dnes, vzniklo až cca v době 1600 př. n. l. První počátky českého skla spadají přibližně do 11. století našeho letopočtu. Velký rozmach českého sklářství nastal v 17. století. Od té doby patří k tradičnímu odvětví zpracovatelského průmyslu. [1]

Sklo je tuhý roztok kovových oxidů v oxidu křemičitém. Sklo se taví při teplotě 1450 až 1550°C. Při chladnutí díky velké viskozitě skloviny se zabrání pohybu molekul, a tím i krystalizaci křemičitých sloučenin. Výsledkem je průhledné sklo. [1]

3.1 Základní typy skla

Základ pro výrobu skla se nazývá sklářský kmen (sklotvorné suroviny). Základní surovinou sklářského kmene jsou sklářské písky s obsahem 60-80 % SiO_2 . Dalšími základními složkami běžných skel jsou oxid vápenatý, sodný a draselný. Tyto oxidy jsou dodávány do kmene formou nerostných (vápenec) nebo chemicky připravených surovin (soda). Dále se mohou přidávat různé pomocné látky. [1]

- Křemenné sklo vzniká tavením čistého křišťálu ve vakuu při teplotě 2000 °C.
- Vodní sklo je obchodní název tavenin alkalických křemičitanů.
- Sodnovápenaté sklo vyrábí se tavením sklářského písku se sodou a vápencem.
- Draselnovápenaté sklo se vyrábí tavením sklářského písku, potaš a vápencem.
- Draselnoolovnaté sklo se připravuje tavením sklářského písku, potaš a oxidy olova.
- Boritokřemičitá skla obsahují oxid boritý.
- Alkalivzdorná skla obsahují minimálně 17 % ZrO_2 . [1]

3.1.1 Český trh

Jediným výrobcem skelných vláken a výrobků ze skelných vláken v České republice je Saint-Gobain Adfors cz, s.r.o. v Litomyšli. Společnost vyrábí primárně skelná vlákna a vláknité produkty pro kompozitní materiály. Vyrábí sklovláknité příze, rohože ze sekaných pramenů, sklovláknitý roving (dlouhé nekonečné vlákno) pro sekání, stříhání, tkaní, vinutí a tažení. [1]

4 Skelná vlákna

Převážná část produkce skelných vláken ve stavebnictví se používá k výrobě kompozitu s polymerní matricí. Na druhém místě jsou kompozity s cementovou matricí. Další použití je v maltách a omítkách. Skelná vlákna najdou uplatnění i v keramickém průmyslu.

4.1 Vlastnosti skelných vláken

Na trhu je spousta skleněných vláken, ale do betonu jsou použitelná pouze vlákna alkalivzdorná, tedy s příměsí ZrO_2 .

Tabulka 1 Porovnání vlastností různých typů skelného vlákna [3]

Vlastnost	Druh skelného vlákna					
	E	S	D	C	L	Cem-FIL
Hustota [kg/m^3]	2540	2490	2160	2490	4300	2680
Pevnost v tahu [GPa]	3,5	4,65	2,45	2,8	1,68	3,5
Modul pružnosti [GPa]	73,5	86,8	52,5	70,0	51,1	72,0
Tažnost [%]	4,8	5,4	4,7	4,8	4,8	4,8
Průměr [μm]	3-20	3-20	3-20	3-20	3-20	3-20
Bod měknutí [$^{\circ}C$]	800-900	800-900	800-900	800-900	800-900	860
Tex [g/Km]	30-4000	30-4000	30-4000	30-4000	30-4000	30-4000

Pozn.: Číslo tex je jednotka charakterizující jemnost vlákna, je to váha 1 km vlákna v gramech.

4.2 Alkalirezistence skelných vláken

Poprvé byla alkalivzdorná skelná vlákna komerčně vyrobena v roce 1973 v Londýně ve sklářské firmě Pilkington Brothers Ltd. S výrobním označením Cem-FIL. [2, 3]

Chemické složení sklářského kmene na výrobu alkalirezistentních vláken vychází ze čtyř složkového systému $SiO_2 - R_2O - RO - ZrO_2$. Právě ZrO_2 zaručí odolnost v alkalickém prostředí v cementové matrici, kde pH dosahuje hodnot okolo 12,5. Minimální množství ZrO_2 pro alkalirezistenci skelných vláken je 17-19 %. Přidané zirkonium se stává součástí molekulární struktury skelných vláken. Alkalirezistence vláken je měřena speciální zkouškou SIC (standart in cement). Výsledkem zkoušky je pevnost vlákna v tahu po expozici v alkalickém prostředí cementového tělíska ve vodě za vysokých teplot. [2, 3]

Mechanismus alkalivzdornosti funguje tak, že při napadení skelného vlákna zásaditými ionty OH^- , tyto ionty reagují se ZrO_2 , a na povrchu se vytvoří ochranný nerozpustný povlak $\text{Zr}(\text{OH})_4$. Běžné skelné vlákno např. typu E (bez ZrO_2), je v zásaditém prostředí cementové matrice rychle napadáno alkáliemi a velmi rychle ztrácí své vlastnosti, především výztužnou schopnost. [2, 3]



Obrázek 2 Vlákná bez ochrany proti alkáliím (vlevo) a vlákna s ochranou proti alkáliím po několika letech v betonu (vpravo) [2]

Tabulka 2 Chemické složení alkalivzdorných skelných vláken

Chemické složení	Obsah [%]
SiO_2	61,0-62,0
Na_2O	14,8-15,0
CaO	-
MgO	-
K_2O	0,0-2,0
Al_2O_3	0,0-0,8
Fe_2O_3	-
B_2O_3	-
ZrO_2	16,7-20,0
TiO_2	0,0-0,1
Li_2O	0,0-1,0

4.3 Dávkování skelných vláken

Dávkování skelných vláken se liší dle výrobní technologie a druhu výrobku. U premixu se dávky vláken pohybují okolo 3 %, vyšší dávky jsou obtížně zpracovatelné.

U technologie stříkání se dávky vláken pohybují až do 6 %, dávky nad 6 % se ukazují jako nadbytečné, pevnost v tahu za ohybu i v příčném tahu klesají. [6]

Tabulka 3 Dávkování skelných vláken dle konstrukce [3]

Dávkování skelných vláken dle použité konstrukce	
Druk konstrukce / výrobku	Dávkování [kg/m³]
Konstrukce podlah (potěry, konstrukční betony samonivelační podlahy,)	až 10
Torkrety	až 20
Tenkostěnné prefabrikované výrobky	až 70
Betony (pouze smrštění)	okolo 0,6
Omítky (pouze smrštění)	okolo 1,5

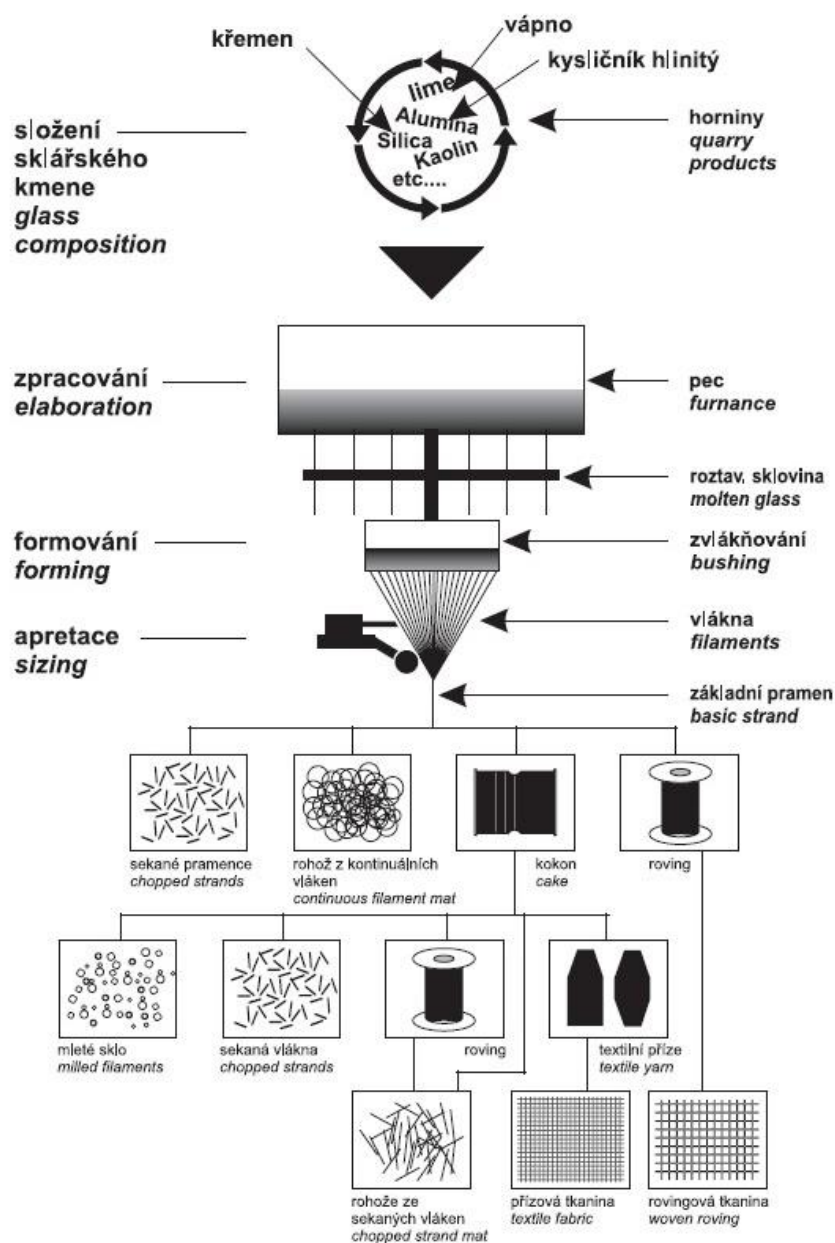
4.4 Výroba skelných vláken

Dříve se skelná vlákna vyráběla dvoustupňovou výrobní technologií. Kdy se nejprve vytvořily skleněné kuličky o průměru cca 20 mm. A až poté se kuličky roztavily na taveninu, z které se následně vytvořila skelná vlákna. [2]

Dnes se převážně používá kontinuální výrobní technologie (obr. 4). Sklářský kmen se z jedné strany sází do pece, kde dojde k roztavení při teplotě 1450-1550 °C, takto připravená tavenina protéká přes platino-iridové perforované desky malými otvory o průměru 1-2 mm. Z druhé strany se vytahují vlákna o průměru 5-25 µm v závislosti na rychlosti odtahu vláken. Najednou se může táhnout 51-408 kusů. [2, 4,16]



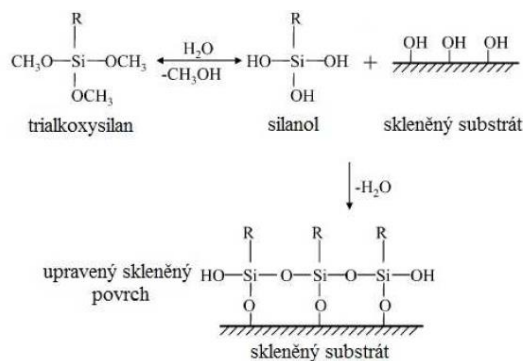
Obrázek 3 Tažení kontinuálního vlákna [2]



Obrázek 4: schéma výroby skelných vláken [4]

Po odtažení vláken se ještě za horka nanáší na jednotlivá vlákna povrchová úprava, tzv.: apretace, která vlákna lubrikuje, chrání před mechanickým poškozením, zvyšuje alkalivzdornost vláken a zároveň zlepšuje adhezi mezi vláknem a budoucí matricí. Apretace může být dočasná (na bázi škrobu) nebo trvalá. Nejvíce jsou používány organické silany s charakteristickou strukturou $X-R-SiY_3$, kde X je vhodná koncová skupina. R je zastoupeno alifatickým uhlovodíkovým řetězcem o různé délce a Y bývá

methoxy skupina, ethoxy skupina nebo chlor. Na obrázku je zobrazená reakce mezi alkoksyilanu a povrchem skelného vlákna. [5,16]



Obrázek 5 Schéma reakce alkoksyilanu s povrchem skleněných vláken [5]

Použití samotné lubrikace může mít i negativní vliv na soudržnost vlákna v matrici. Lubrikace sice zlepšuje manipulovatelnost s vlákny, ale vlákna mají po aplikaci do cementové matrice nulovou adhezi. [5]

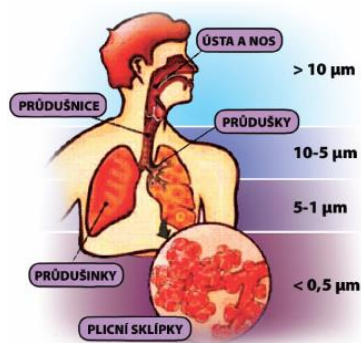
Vlákna se splétají do pramenů, které se navíjejí na kokony, ty jsou pak výchozí jednotkou pro další zpracování, například na pramence (roving). Roving jsou paralelně sdružené prameny bez zákrutu (obvykle 400-1600 vláken). Nekonečný roving se užívá právě u technologie stříkání sklovláknobetonu. Další část rovingů se seká na délky 2-6 mm, takzvaná stříž. Takto nasekaná krátká vlákna se používají na výrobu premixů (lití jemnozrnné betonové směsi do forem). Dále se roving zpracovává na výrobu výztužných tkaných či netkaných tkanin jak z dlouhých, tak i z nasekaných vláken. Tkané tkaniny mají obecně vyšší tuhost a pevnost. [3]



Obrázek 6 Sír, roving, stříž [9]

4.5 Karcinogenita skelných vláken

Lidské dýchací ústrojí velmi účinně dokáže filtrovat běžné znečišťující látky z ovzduší. Filtrační systém v nose a ústech předchází tomu, aby se částice nad 10 μm dostaly do těla. Částice větší než 100 μm jsou zadrženy již v horních cestách dýchacích. Částice o velikosti menší než 10 μm je obtížné v těchto partiích zachytit a mohou se dostat do dalších částí těla, například jemných částí plic, kde mohou způsobit vážné zdravotní potíže. [7, 8, 16]



Obrázek 7 Znárodnění velikosti částic, které je možné zachytit v těle [7]

Technologie výroby kontinuálních vláken umožňuje zajistit zdravotní bezpečnost výrobku. Kritérium karcinogenity pro vlákna stanovuje jako kritický průměr vláken do 3 μm . Průměry skleněných vláken jsou 14 μm , což je vysoko nad požadovanou hranicí. [2, 8]



Obrázek 8 Velikost skelného vlákna ve srovnání s vláknem azbestovým [2]

5 Sklovláknobeton

Jemnozrnná matrice na bázi vysokohodnotného cementu vyztužená alkalivzdornými skleněnými vlákny dříve známá jako sklobeton nebo sklolaminát, dnes dle platné normy ČSN EN 1170 se označuje jako sklovláknobeton SVB. Sklovláknobeton (SVB), z anglického glass fiber reinforced concrete, zkratkou GFRC, lze považovat v souladu s ČSN EN 1169 za hutný beton, tj. složený materiál skládající se ze základní hmoty s hydraulickým pojivem vyztužené skelnými vlákny. Použitá skelná vlákna jsou vyrobena alkalivzdorná. Tato vlastnost musí být doložena zkouškou v rámci průkazních zkoušek SVB podle ČSN EN 14649 – Betonové prefabrikáty – Zkušební metoda pro určení stálosti pevnosti skleněných vláken v cementu a betonu (zkouška SIC). Norma ČSN EN 1169 definuje pokyny pro výrobu SVB a všeobecná pravidla pro výrobní kontrolu materiálu SVB a platí s normativními odkazy ČSN EN 1170-1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 a 8 (zkušební metody pro SVB). Z mostních dílců ze SVB mohou být provedeny např. lícové plochy vnějších a vnitřních říms, a to na základě průkazních zkoušek vzájemného spolupůsobení SVB a železobetonu. [29]

5.1 Výhody sklovláknobetonu

Předností těchto výrobků je zejména jejich nízká hmotnost, což výrazně snižuje náklady na přepravu, usnadňuje manipulaci, montáž a současně omezuje dopady na životní prostředí. Jemnozrnné částice ve struktuře kompozitu zajišťují nízkou nasákavost a odolnost proti mrazu, povětrnosti, atmosférickým vlivům a ohni. Použitím vláknové výztuže je dosaženo požadované pevnosti v tahu, v tahu za ohybu i odolnosti proti rázu. [9, 6, 12]

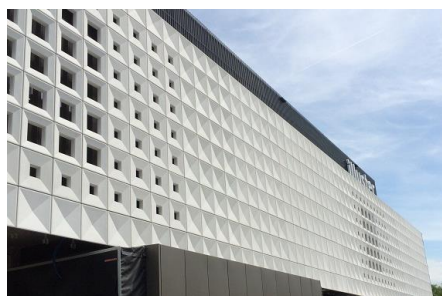
Další výhody:

- Tenkostěnný profil tloušťky cca 10-15 mm, tvarová a rozměrová různorodost
- Pohledovost, nemusí se dodržovat krytí výztuže
- Trvanlivost, údržba
- Nehořlavost, houževnatost
- Hygienická nezávadnost

5.2 Základní výrobky ze sklovláknobetonu

Sklovláknobeton je univerzální stavební materiál, který umožňuje výrobu pevných, odolných, odlehčených konstrukcí a dílců. Sklovláknobeton nachází využití u občanských i inženýrských staveb. Lze jej využít jak při novostavbě, tak i rekonstrukcích.

- Architektonické výrobky
- Fasádní systémy
- Pohledové a obkladní dílce
- Prefabrikované dílce
- Prvky na ochranu proti slunečnímu záření
- Umělé kamenivo
- Kabelové žlaby
- Protihlukové stěny
- Kanály a potrubí
- Zemědělské výrobky
- Kanalizační obložení
- Bednění k trvalému používání
- Městské mobiliáře
- Užitkové boxy
- Hrubé omítky

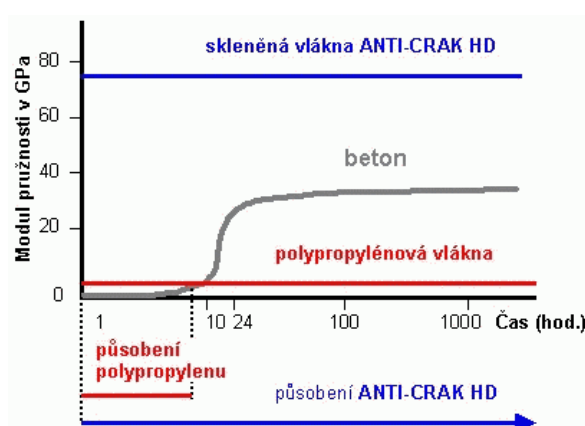


*Obrázek 9 Realizace Dako -
fasádní dílce [9]*

5.3 Princip vyztužení

Skelná vlákna mají požadovanou tuhost a pevnost ale jsou velmi náchylná, díky své křehkosti. Je tedy potřeba vlákna chránit ochranou maticí. U sklovláknobetonu tuto funkci plní cementová či polymercementová matrice. Úkolem matrice je vlákna chránit před mechanickým poškozením a udržet je v požadovaném prostorovém rozložení. Nositelem pevnosti a tuhosti jsou tedy vlákna. [3]

Princip vyztužení vlákny spočívá v modulu pružnosti. Vlákná s menším modulem pružnosti, než je modul pružnosti cementové matrice, jako jsou vlákna polymerní či přírodní, se aktivují především v počáteční době hydratace cementu, kdy beton dosahuje minimálních hodnot modulu pružnosti. Do doby, než beton nedosáhne modulu pružnosti daného vlákna, dokáží vlákna zabránit objemovým změnám, zejména smrštění způsobené změnami vlhkosti, částečně zabraňují segregaci a krvácení betonu. Po navýšení modulu pružnosti již nemají na pevnost žádný vliv. V zatvrdlém betonu omezují křehkost betonu a zvyšují jeho houževnatost. [13]



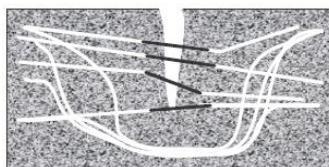
Obrázek 10 Srovnání PP a skelných vláken s ohledem na modul pružnosti [2]

Na druhé straně vlákna s vyšším modulem pružnosti než modul pružnosti matrice, jako jsou vlákna skelná nebo ocelová, zvyšují modul pružnosti matrice a odolnost vůči tahovému namáhání po celou dobu tuhnutí a tvrdnutí betonu a zůstávají účinná i ve vyzrálém betonu. Při vnějším namáhání dochází ke vzniku smykových sil na rozhraní skelné vlákno/cementová matrice, které v případě dobré adheze umožňují přenos napětí z cementové matrice do skelných vláken či jiných vláken. [13]

Tabulka 4 Porovnání klíčových vlastností cementové matrice a skelných vláken [3]

Materiál	Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Modul pružnosti [GPa]	Mezní protažení [%]	Měrná hmotnost [Kg/m ³]
Skleněné vlákno	3500	70-80	2-2,5	2680
Cementová matrice	3,7	10-45	0,02	2500

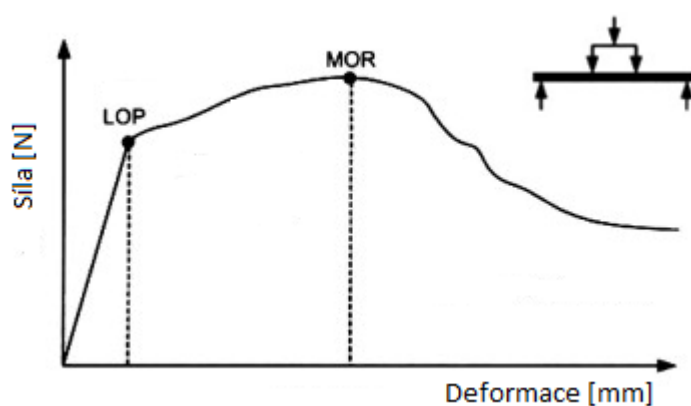
Po vytvoření makrotrhliny nenastane destrukce, ale trhлина se překlene skelnými vlákny, čímž se zvýší reziduální pevnost betonu. Od té chvíle přenáší tahová napětí pouze vlákna, a eliminují tak křehký lom betonu. [13]



Obrázek 11 Překlenutí trhliny vlákny

Hlavní faktory ovlivňující pevnost sklovláknobetonu jsou obsah vláken, hustota, orientace vláken, délka vlákna a druh vytvrzení. V průměru má sklovláknobeton dvakrát až čtyřikrát větší pevnost v tahu za ohybu než prostý beton bez vláken. Skelná vlákna se dávkuje v poměru k celkové hmotnosti materiálu. Obsah vláken ve sklovláknobetonu se pohybuje v rozmezí 3-6 %. Zvýšený obsah vláken zvyšuje pevnost, ale na druhou stranu snižuje zpracovatelnost. Obsah vláken nad 6 % naopak pevnost již snižují. [2]

Dle normy ČSN EN 1170-5 se u sklovláknobetonu zaznamenávají 2 síly a to F_{LOP} (zatěžovací síla na mezi úměrnosti) a F_{MOR} (zatěžovací síla při porušení) a k tomu se dopočítávají příslušné veličiny. [22]



Obrázek 12 Diagram porušení sklovláknobetonu [22]

6 Vstupní suroviny na výrobu sklovláknobetonu

Níže zmiňovaný seznam obsahuje běžně používané výrobní suroviny. Záleží na jednotlivých výrobcích a ekonomických možnostech výrobce, jakou technologii, či materiál zvolí.

6.1 Portlandský cement vyšších pevnostních tříd

Cement vhodný pro prefabrikovanou betonovou výrobu je obecně přijatelný i pro výrobu sklovláknobetonu. Výběr cementu je dán druhem finálního produktu. Jeho vlastnostmi a vzhledem. Výběr dodavatele je závislý na vzdálenosti, ceně a kvalitě nabízeného zboží. Nejčastěji se používá portlandský cement CEM I 52,5 R.

6.2 Jemnozrnný křemičitý písek

Výběr písku je velmi důležitou součástí kvalitní výroby sklovláknobetonu. Písek musí být tvrdý, čistý, odolný a dobré kvality. Pro technologii výroby stříkáním se doporučuje maximální velikost zrna 1,5 mm. U technologie premix horní hranice v podstatě neexistuje.

Při výrobě sklovláknobetonu jsou využívány ve velké míře křemičité písky. Standardní parametry:

Tabulka 5 Standardní parametry křemičitého písku [9]

obsah křemičitanů	> 96,0 %
vlhkost	< 2,0 %
rozpustné soli	< 1,0 %
ztráta žíháním	< 0,5 %
sulfáty	< 0,4 %
chlorid	< 0,6 %

Vysušené písky regulují lépe míchací proces, a proto je vhodné skladovat písek v suchých prostorech nebo objemných silech.

6.3 Alkalivzdorná skelná vlákna

Skelná vlákna s velmi vysokou pevností v tahu a vysokým modulem pružnosti. Samozřejmostí je zajištěná alkalirezistence příměsí ZrO_2 . Vlákna se dodávají ve formě rovingu obvykle s 32 prameny, každý pramen obsahuje 400-1600 monovláken.

6.4 Přísady a příměsi

Přísady a příměsi jsou v širokém rozsahu využívány při výrobě sklovláknobetonu za účelem vylepšení konečných vlastností. Výběr nejvhodnějších přísad a příměsí je v závislosti na jednotlivých faktorech, obzvláště na druhu cementu, písku a klimatických podmínkách.

6.4.1 Pigmenty

Pigmenty jsou používány za účelem vylepšení vzhledu výsledného prvku. Obarvení bílého či šedého cementu. Pigmenty se dávkuje dle požadovaného výsledného odstínu, většinou od 5 % do 10 % na objem cementu. Výsledný povrch může být posléze vymytý kyselinou, pískován či leštěn.

6.5 Voda

Voda vhodná na výrobu sklovláknobetonu musí vyhovovat kvalitativním požadavkům dle ČSN EN 1008. Při extrémních klimatických podmínkách je zapotřebí ochlazování, či zahřívání vody.

6.6 Separační prostředky

Všechny formy vyžadují nános tenké vrstvy účinných látek pro odformování, a to před každým použitím. Separační prostředky nesmí ovlivňovat výsledný vzhled prvku.

7 Přísady do sklovláknobetonu

Použití přísad do sklovláknobetonu umožňuje docílit takových vlastností, které jsou bez přísady nedosažitelné. Dávkuje se zpravidla do záměsové vody. Přísady mohou být organické nebo anorganické, v kapalně či pevné formě. Častěji v kapalně formě. Do betonu se přidávají v malém množství před nebo v průběhu míchání. Přísad v současnosti existuje obrovské množství, kdy každá přísada ovlivňuje jiný parametr čerstvého či zatvrdlého sklovláknobetonu. Užívání více přísad najednou nemusí být v interakci, a proto musí být spolupůsobení přísad experimentálně ověřeno. [30]

Přísady se podle ČSN EN 934-2 rozdělují na typy podle hlavního účinku působení [30]:

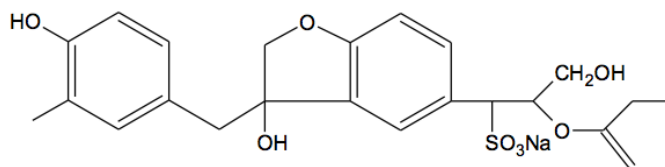
- plastifikační (redukující vodu),
- superplastifikační (velmi redukující vodu),
- provzdušňující,
- stabilizační (zadržující vodu),
- zpomalující tuhnutí,
- urychlující tuhnutí a tvrdnutí betonu,
- hydrofobizační (odpuzující vodu).

7.1 Plastifikační přísada

Množství záměsové vody neovlivňuje pouze reologické vlastnosti ale i mechanické vlastnosti konečného prvku. Cementová zrna se po přidání vody mají tendenci flokulovat. Tomuto jevu zabráníme právě přidáním plastifikačních přísad. Na trhu stavební chemie existuje celá řada forem plastifikačních přísad. [30]

7.1.1 Lignosulfonan

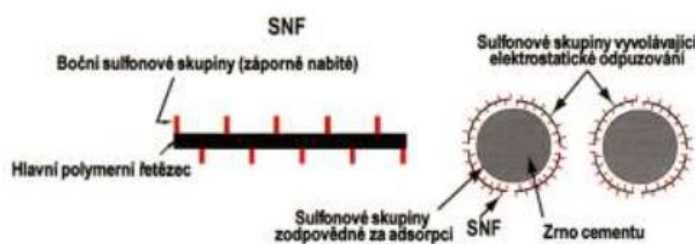
Plastifikační přísady na bázi lignosulfonanu jsou nejstaršími a nejrozšířenějšími plastifikačními přísadami do betonu. Tyto plastifikátory se vyrábějí z odpadu při zpracování dřeva na celulózu, a jsou tedy ekologickou likvidací odpadu v papírenském průmyslu. Plastifikační přísada na bázi lignosulfonanu je hustá hnědá kapalina s charakteristickým karamelovým zápachem. Důvodem rozšíření těchto plastifikátorů je nízká cena. Fungují na bázi elektrostatického odpuzování zrn. [14, 31]



Obrázek 13 Zjednodušená základní jednotka lignosulfonanu [31]

7.1.2 Melaminsulfonan

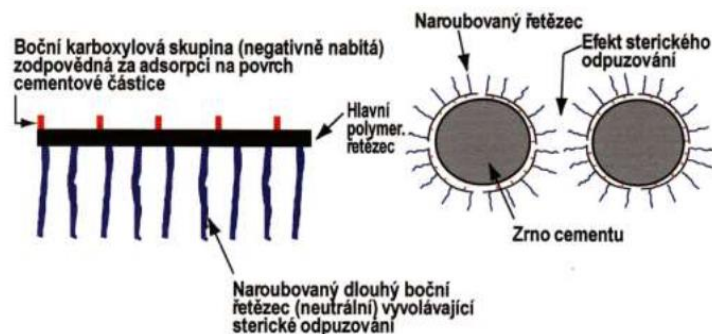
Plastifikační přísady na bázi melaminu jsou po chemické stránce sulfonované melaminformaldehydové pryskyřice. Kapalná forma této přísady je žlutavá kapalina. Plastifikační přísady na bázi melaminu nevykazují žádný vedlejší provzdušňovací účinek. Použitím této přísady lze při zachování konzistence betonové směsi dosáhnout až 30% úspory záměsové vody. Tyto plastifikační přísady mají výhodu v tom, že nejsou citlivé na předávkování. Fungují na bázi elektrostatického odpuzování zrn. [14, 31]



Obrázek 14 Princip elektrostatického odpuzování [31]

7.1.3 Polykarboxylát

Plastifikační přísady na bázi modifikovaných polykarboxylátů jsou na stavebním trhu nejmodernějšími a nejúčinnějšími přísadami. Polykarboxyláty jsou syntetické organické polymery nesoucí karboxylové skupiny. Tekuté přísady mohou mít nažloutlou, světle hnědou barvu. Pomocí této formy plastifikační přísady dokážeme výrazně redukovat potřebné množství záměsové vody (více než 30 %). Fungují na bázi stérického odpuzování zrn. [14, 31]



Obrázek 15 Princip stérického odpuzování [31]

7.2 Hydrofobizační přísady

Hydrofobizační přísady jsou látky, které se přidávají za účelem hydrofobizace, již v průběhu samotného míchání betonové směsi. Jedná se o technologii tzv. vnitřní hydrofobizace v celé hmotě betonu. Nejedná se tedy o přípravky, které jsou nanášeny až na hotový povrch výrobku. Hydrofobní nátěry hydrofobizují pouze povrch konstrukce. Hydrofobizační přísady jsou určeny ke snížení nasákavosti celé struktury betonu. Výhodou hydrofobizačních přísad je, že výrobky zůstávají hydrofobní i při dodatečné úpravě povrchu betonu, při řezání, leštění, pískování, broušení i opotřebení povrchu výrobků. [17, 31]

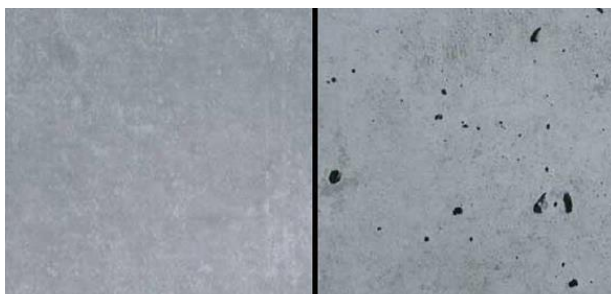


*Obrázek 16 Prvek s hydrofobizační přísadou (vpravo),
prvek bez hydrofobizační přísady (vlevo) [17]*

7.3 Odpěňovací přísada

Odpěňovací přísady mohou mít pevnou formu či kapalnou formu. Nejčastěji jsou vyrobeny z látek na bázi esterů minerálních kyselin, polyglykolů a mastných kyselin. Odpěňovací přísada dokáže vytěsnit vzduch z betonové směsi během míchání, dopravy a hutnění. [11, 17]

Tyto přísady jsou nejvíce používány u technologie pohledového betonu, u kterého je požadovaný hladký povrch bez výskytu pórů. Efekt vytěsnění vzduchu se nejvíce projeví při betonáži pohledových svislých vysokých stěn, u kterých je vypuzení vzduchu z betonu nesnadné. Odpěněním se zvýší hutnost betonu, a tím se zvyšuje celková odolnost betonu, jako je i pevnost v tahu za ohybu. S vyšší hutností a hladkým povrchem je také spojena vyšší odolnost proti tvorbě vápenných výkvětů. Odpěňovací přísady snižují viskozitu betonové směsi a brání rozměšování směsi. Také umožňuje vysokorychlostní míchání betonové směsi bez vnesení vzduchu vlivem našlehání betonu. Toto je hojně využíváno při míchání sklovláknobetonu. [11, 17]



*Obrázek 17 Prvek s odpěňovací přísadou (vlevo),
prvek bez odpěňovací přísady (vpravo) [17]*

7.4 Polymerní přísada

Polymerní vytvrzovací přísady mohou představovat až 1/3 materiálových nákladů sklovláknobetonu. Jedná se o akrylovou termoplastickou kopolymerní emulzi, která může obsahovat další přísady, které zlepšují vlastnosti čerstvého i ztvrdlého sklovláknobetonu. [15]

Polymer používaný v technologii výroby sklovláknobetonu hraje důležitou roli v pevnosti, vzhledu, trvanlivosti a skladování. Jeho primární účel je udržet vnitřní vlhkost ve sklovláknobetonu. Doporučovaný režim vytvrzování je sedm dní při relativní vlhkosti 95 %. V mnoha případech je to velice nepraktické, z důvodů nedostatečných skladovacích prostor ve výrobě. Polymer umožňuje, aby prvky ze sklovláknobetonu byly vytvrzeny pouze na vzduchu a dosáhly pevnosti v tahu za ohybu a tlaku, rovnající se stejnému sklovláknobetonu vytvrzeného pod vodou. [15]

Vytvrzování s polymerní přísadou je v mnoha ohledech ekonomičtější. Polymer zpolymerizuje, a tím zpevní vnitřní strukturu a zároveň vytvoří na povrchu prvku tenkou vrstvu, která ho udržuje neustále vlhký a zabraňuje odchodu vody z prvku. Zachování vlhkosti přináší tedy stejné pozitivní účinky jako vytvrzení pod vodou a vytvoří se tak těsnější, hustší výrobek, což snižuje absorpci vlhkosti. Polymer zlepšuje zpracovatelnost cementové matrice při nízkém poměru voda/cement, odolnost proti segregaci, snižuje výskyt výkvětů, zlepšuje probarvení prvku, tažnost a přilnavost i k svislým povrchům formy. Po odlití polymer pomáhá snižovat nekonstrukční trhliny, a tím zvyšuje odolnost proti mrazu. Polymer vykazuje odolnost proti oxidaci a stabilitu ve vysoce alkalickém prostředí. Polymer je stabilní vůči UV záření. Výrobky s polymery zabraňují stárnutí a polymer v čase nekřehne ani neslábne. [15]

Na trhu se nově objevili polymery v suché práškové formě. Přičemž se jedná o stejnou účinnost. Důvodem použití suchých polymerů je úspora nákladů a zjednodušení dávkování. Úsporu nákladů spočívá v tom, že není nutné zbytečně platit přepravu kapaliny (vody). U dávkování není třeba odečítat množství obsažené vody od vody záměsové. Dávkování kapalného polymeru vyžaduje znalost obsahu polymerních pevných látek. U sypké formy toto odpadá, protože suché polymery jsou 100% čisté pevné látky. Například polymerní přísada s 50 % pevných látek je kapalná vytvrzovací přísada a obsahuje 50 % tuhých látek, tudíž 50 % vody. [15]

Studie ukazují, že pro dosažení 7denní pevnosti vytvrzené na vzduchu, která je ekvivalentní s 7denní pevností vytvrzené za mokra, je zapotřebí vyšší dávka pevných látek. Nižší dávka polymerních pevných látek neposkytuje tyto výhody. Naopak vyšší dávky snižují propustnost vody z prvku a zvyšují pružnost betonu. Z testů vycházejí stejné výsledky s kapalným polymerem i suchým polymerem. [11, 15]

Ne všechny formy polymeru mají stejnou účinnost. Mnohé nejsou stabilní vůči UV záření. Některé se po vytvrzení znovu emulgují, pokud se namočí. [15]

Polymer by měl být skladován v uzavřených nádobách v suchém prostředí při skladovacích teplotách od 5 °C do 30 °C. Skladovat mimo přímé sluneční záření a mimo přímé zdroje tepla. [15]

8 Technologie výroby sklovláknobetonu

Existují dvě celosvětově standardizované výrobní technologie. Jedná se o technologii stříkáním a technologii premix. Každá ze dvou výše zmiňovaných metod je vhodná pro určitý druh výrobku. Mnoho výrobců používá obě tyto metody.

Tabulka 6 Srovnání vlastností prvku z GFRC vytvořeného technologií premix a stříkáním

Vlastnost	mj.	Technologie stříkání	Technologie premix
Obsah skelného vlákna	%	4-5	1,5-3,0
Objemová hmotnost	kg/m ³	1800-2100	1800-2100
LOP ⁽¹⁾	MPa	6-10	5-10
MOR ⁽²⁾	MPa	18-30	5-15
Pevnost v tlaku	MPa	40-70	50-80
Pevnost v prostém tahu	MPa	8-12	3-6

⁽¹⁾ LOP – pevnost v tahu za ohybu na mezi úměrnosti

⁽²⁾ MOR – pevnost v tahu za ohybu při porušení

8.1 Technologie premix

U technologie premix je přidáváno skelné vlákno do cementové matrice na konec míchacího cyklu, tím dojde k všestrannému rozptýlení vláken v celém objemu směsi. Namíchaný materiál, tedy premix, je poté vliván, pumpován či stříkán (tzv. stříkaný premix) do forem. [6, 9]



Obrázek 18 Technologie premix (lítí) [20]

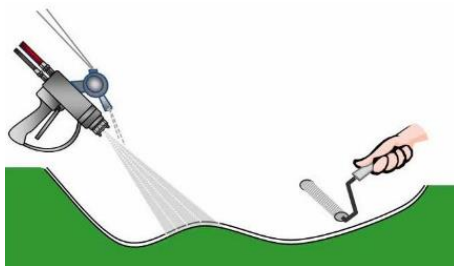
Doporučené je používat vibrační zařízení nebo samozhutnitelné směsi. Většinou se celá tloušťka profilu odlévá najednou. Vlákná jsou rovnoměrně rozdělena po celé konstrukci ve všech směrech. Vzhledem k náhodné orientaci vláken je jen málo vláken schopno odolat tahovému zatížení, které se vyvíjí v určitém směru. Nejlépe jsou schopna odolávat vlákna kolmá k vektoru zatížení. Dávka vláken se pohybuje do 3 % z hmotnosti celé směsi. Prvek vyrobený technologií premix má tedy menší pevnost, oproti nastříkanému prvku se stejným obsahem a daným směrem skelného vlákna. Obecně se udává, že pouze 10 % vláken se zatížením aktivují (u technologie stříkání se udává 33 až 45 % vláken). Výhodou jsou menší odpady při výrobě a nižší pořizovací náklady základního vybavení. Lze vytvářet složitější členité a prostorové prvky s oboustranně hladkým povrchem, u technologie stříkání se zhotovují převážně plošné výrobky s hladkou pohledovou stranou. [6, 9]

Typický průběh míchání při technologii premix:

1. Do míchacího zařízení se nejdříve nalijí veškeré tekuté suroviny (polymerní přísada, plastifikační přísada, záměsová voda).
2. Míchadlo se ponoří do míchací nádoby a začne se míchat pomalou rychlostí.
3. Přidá se kamenivo (křemičitý písek).
4. Přidá se pojivo (cement vyšších pevností).
5. Navýší se rychlostní otáčky míchacího zařízení.
6. Pokračuje se v míchání dalších 20-40 sekund.
7. Zastaví a vytáhne se míchadlo, očistí se materiál po stranách nádoby i míchadla.
8. Znovu se zapne míchadlo a míchá se dalších 10-20 sekund.
9. Zpomalí se míchadlo a přidá se skelné vlákno.
10. Pokračuje se v míchání dalších asi 10 sekund.
11. Směs je hotová. [10]

8.2 Technologie stříkání

Pod pojmem stříkání sklovláknobetonu rozumíme cementovou směs a skelné vlákno, které jsou za pomoci stříkací pistole nanášeny souběžně na připravenou formu. Poté se ručně zhutňuje pomocí válečků, a nakonec se uhladí hladítkem. Tato technologie nepotřebuje dodatečnou vibraci. [9]



Obrázek 19 Postup nanášení GFRC směsi a způsob hutnění

Skelné vlákno ve formě nekonečného rovingu je přiváděno do hlavy pistole. Stříkací pistole seká skelné vlákno na požadovanou délku požadovanou rychlostí. Stříkací pistole může být přidržována ručně (tzv. ruční stříkání) nebo může být přimontována na posuvnou konstrukci (tzv. automatické stříkání). Jak už název napovídá – při ručně stříkané technologii je pistole ovládána rukou, a při automatické stříkané technologii je upevněna na vratném mechanismu nebo dokonce na naprogramovatelném robotu. [3]



Obrázek 20 Stříkací jednotka připevněná na naprogramovatelném robotu [10]

Po rozmíchání se matrice vloží přes vibrační síto do zásobníku (1). Síto zabranuje tvorbě hrudek, ucpaní a nedokonalostem na finálním výrobku. Poté je matrice pomocí šnekového podavače (2) dopravena do potrubí na přepravu cementové matrice (3). Cementová matrice je vzduchem (7) poháněna až ve stříkáci pistoli (8). Kde je rozprašována společně s nasekaným skleněným vláknem. Skelné vlákno je do stříkáci pistole přiváděno ve formě rovingu z role (4), která je postavena na konzolové konstrukci (6), na které je uchycen celý stříkáci komponent. Vše je řízeno ovladícím panelem (5) na čele stroje. [9, 10]



Obrázek 21 Stříkáci jednotka na výrobu GFRC [20]

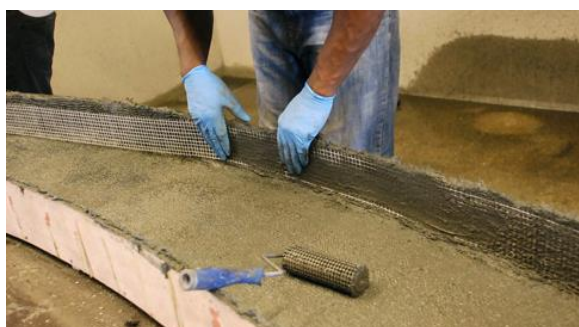
Technologie stříkání může být provedena suchým způsobem (popsaný výše) nebo mokrým způsobem. Mokrý způsob vychází z dopravy suchých složek do pistole, kde teprve dojde ke smíchání s vodou. Výhoda toho způsobu je, že se dá v pistoli regulovat konzistence stříkané směsi. [9]

Pistole je vzdálena asi 300 mm od povrchu formy, ve směru kolmém k povrchu. Nejprve se do formy nanese pohledová vrstva z pravidla v 1-2mm silné vrstvě (tzv. mlha). Poté se již nanáší vrstvy s vlákny. Vlákna jsou náhodně orientována v tenké vodorovné rovině. Prvky jsou tvořeny v tenkých vrstvách. To zajišťuje, že vlákna při ztuhnutí budou ležet vodorovně s formou. Obecně platí, že tloušťka vrstvy činí přibližně polovinu délky vlákna. Většina prvků ze sklovláknobetonu dosahuje tloušťky 10-20 mm, celkový počet tvoří 4-6 vrstev. První vrstva se nanáší zprava doleva, druhá vrstva směrem dolů a nahoru. Tento postup se opakuje až do vytvoření všech vrstev stříkaného prvku. [9, 10]



Obrázek 22 postu stříkání (Nahoru/Dolů; Zleva/Doprava) [9]

Každá vrstva s vlákny se hutní pomocí válečků s trny či kotouči. Odstraní se tak z formy vzduch a vlákna se narovnají do potřebné polohy. Do nejslabších míst průřezu prvku může být přidána výztužná skelná tkaná či netkaná textilie, čímž se zvyšuje pevnost v ohybu v klíčových oblastech. [9]



Obrázek 23 Výztužná skelná textilie [10]

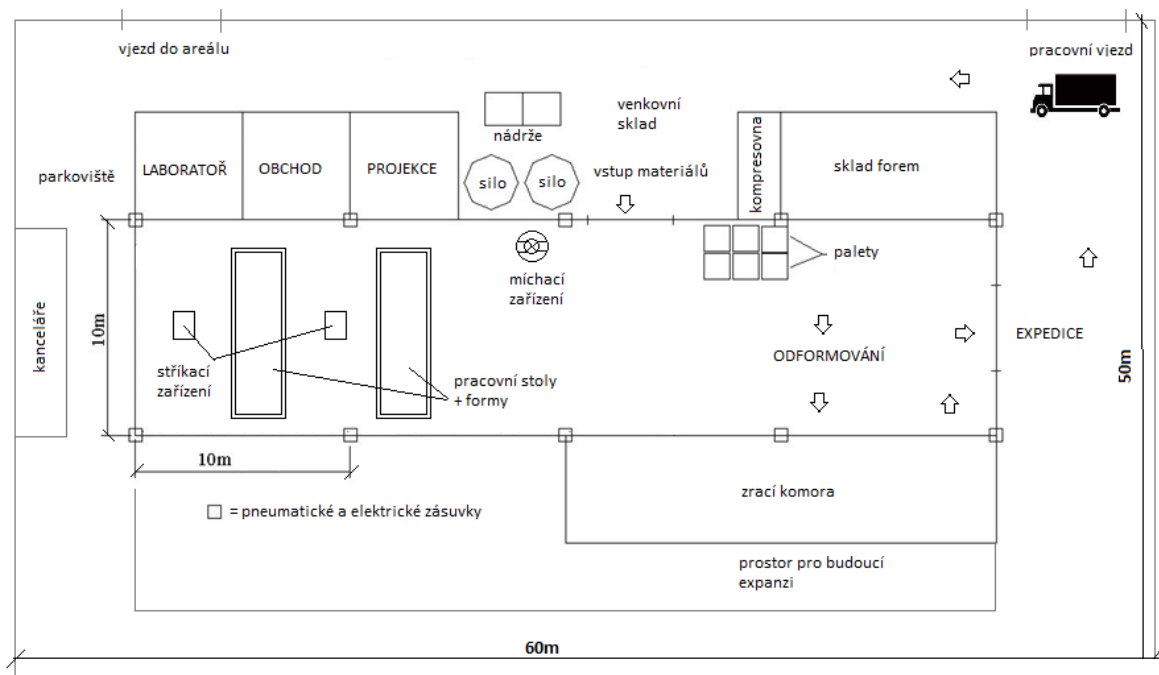
Typický průběh cyklu míchání stříkaného sklovláknobetonu:

1. Do míchacího zařízení se nejdříve nalijí veškeré tekuté suroviny (polymerní přísada, plastifikační přísada, záměsová voda).
2. Míchadlo se ponoří do míchací nádoby a začnete míchat pomalou rychlostí.
3. Přidá se kamenivo (křemičitý písek)
4. Přidá se pojivo (cement vyšších pevností).
5. Navýší se rychlostní otáčky míchacího zařízení
6. Pokračuje se v míchání dalších 20-40 sekund
7. Zastaví a vytáhne se míchadlo, očistí se materiál po stranách nádoby i míchadla.
8. Znovu se zapne míchadlo a míchá se dalších 10-20 sekund.
9. Směs je nyní připravena k technologii stříkání.
10. Hotová cementová matrice se přesune do zásobníku pumpy přes vibrační síto.
11. Do zásobníku stříkací pistole se vloží skelný roving.
12. Kalibrace rychlosti stříhu skelného vlákna a tlaku vzduchu. [10]

9 Zařízení potřebné pro výrobu sklovláknobetonu

Výroba sklovláknobetonových prvků vyžaduje specializované zařízení, které se liší v závislosti na vybrané technologii výroby a výrobní kapacitě.

9.1 Typické uspořádání výrobní haly



Obrázek 24 možné uspořádání výrobní haly

9.2 Manipulace s výrobky

Přesto, že jsou výrobky ze sklovláknobetonu výrazně lehčí ve srovnání s výrobky z prostého betonu, velkoformátové výrobky jsou příliš těžké pro ruční manipulaci. Proto je nutná strojní mechanizace pro manipulaci. [9]

9.2.1 Mostový jeřáb

Pro manipulaci s výrobky uvnitř haly. Umožňují maximální využití výrobních prostor.
Vysoké pořizovací náklady. [9]

9.2.2 Vysokozdvížené vozíky

Pro využití ve skladu materiálů, dále pak pro nakládání a vykládání hotových výrobků. [9]

9.3 Formy

Formy mohou být zhotoveny z různých materiálů. Nehledě na použitý materiál, každá forma musí splňovat přísná rozměrová kritéria a výslednou povrchovou úpravu. Formy se liší pořizovací cenou a životností. Běžné materiály pro výrobu forem je ocel, dřevo či guma. [9]

9.3.1 Ocelové formy

Použití pro standardní produkty. Vysoká mechanická odolnost, vysoká opakovatelnost formy. Vysoké pořizovací náklady. [9]

9.3.2 Dřevěné formy

Nejrozšířenější a nejuniverzálnější použití materiálu. Nízké pořizovací náklady. Složité tvary formy. [9]

9.3.3 Gumové formy

Snadné odbedňování. Nejsložitější tvary. Vysoká flexibilita a použitelnost forem. [9]

9.3.4 Ostatní formy

Lze úspěšně použít i jiné materiály, jako polypropylen nebo sádra. [9]

9.4 Výrobní zařízení

9.4.1 Míchací zařízení

Slouží k zamíchání jednotlivých složek. Používají se míchadla s vysokými otáčky. Otáčky se pohybují okolo 0-1400 ot/min. Vlivem vysokých otáček dochází k intenzivnímu míchání. Tyto míchačky lze rozdělit dle jmenovitého výkonu, tedy

objemu vyrobené betonové směsi za jednotku času [m^3/h]. Velikost míchačky záleží na objemu výroby. [20]



Obrázek 25 Míchaadlo na výrobu GFRC [20]

9.4.2 Stříkací stanice

Stříkací jednotka se skládá z pumpy a stříkací pistole. Směs je hnána do stříkací pistole, odkud je rozprašována vzduchem společně s nasekaným skleněným vláknem. [20]



Obrázek 26 Stříkací jednotka [20]

9.4.3 Vibrační zařízení

Při odlévání (plnění formy) pomáhá vibrace k pohybu sklovláknobetonové směsi a vytěsňuje tak přebytečný vzduch. Vibrační stoly jsou nejlepší metoda pro dosažení potřebné hutnosti u velkoplošných dílců, zejména u technologie premix. [20]



Obrázek 27 Vibrační zařízení [20]

9.4.4 Dávkovací zařízení

Lze využít systém automatického dávkování vody a přísad. Přesné dávkování kapalných složek, které se používají ve výrobě sklovláknobetonu, zvyšuje kvalitu, kontrolu nákladů a snižuje faktor lidské chyby. Nejčastěji se používá pro dávkování záměsové vody, plastifikačních přísad, urychlujících přísad, zpomalovacích přísad, polymerních přísad a dalších přísad. Zařízení se skládá ze snímače hladiny, výpustního ventilu a čerpadla. Kapacity dávkovacího zařízení se pohybují od 0,5 l do 25 l. [20]



Obrázek 28 Dávkovací zařízení [20]

9.4.5 Ostatní

Hutnicí válečky se používají pro narovnání skelného vlákna v dané vrstvě a odstranění přebytečného vzduchu. Velké válečky pro plochy, malé pro složité tvary, hrany a rohy. [20]



Obrázek 29 Hutnicí válečky [20]

Zpravidla se ocelová hladítka používají ke konečné úpravě stříkaného prvku (zadní část).



Obrázek 30 Ocelové hladítka [20]

9.5 Zařízení na zajištění kontroly kvality

Pro výrobu a zajištění kvality výrobků ze sklovláknobetonu je nezbytné zajistit kontrolu při výrobě (čerstvý sklovláknobeton) ale i na finálním výrobku (ztvrdlý sklovláknobeton).

9.5.1 Váhy

Pro zajištění přesné navážky vstupních surovin a kontroly parametrů hotového výrobku se doporučují váhy s přesností na 0,1 g.

9.5.2 Cirkulační sušárna

Cirkulační laboratorní sušárna s nuceným oběhem vzduchu a nastavitelnou teplotou na 105 ± 5 °C.

9.5.3 Souprava pro zkoušku sednutím

Zkušební souprava sestává ze stěrek, kovového nebo plastového prstence s hladkou vnitřní stěnou o výšce $55 \pm 0,5$ mm a vnitřním průměrem $57 \pm 0,5$ mm, jehož vnější průměr je alespoň 65 mm. Ploché desky z hladkého materiálu o velikosti přibližně 300×300 mm, na nichž je vyznačeno 9 kružnic, jejichž průměr je uveden v tabulce. [20, 21]



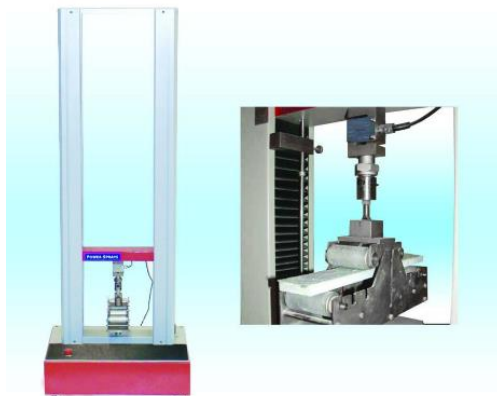
Obrázek 31 Sada ke zkoušce sednutím [20]

Tabulka 7 Zařazení do kategorií dle rozlití [21]

Číslo kružnice	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Průměr kružnice [mm]	65	85	105	125	145	165	185	205	225

9.5.4 Zkušební lis na zkoušení pevnosti v tahu za ohybu

Nejdůležitější zkouškou kontroly kvality sklovláknobetonu je zkouška pevnosti v tahu za ohybu. Stroj musí být vybaven přípravkem na čtyřbodový ohyb, jehož opěrné válečky musí mít nejméně 6 mm a průhyboměr. Stroj musí být schopen vykreslit bodově či spojitě průběh zatěžování v závislosti na průhybu. [20, 22]



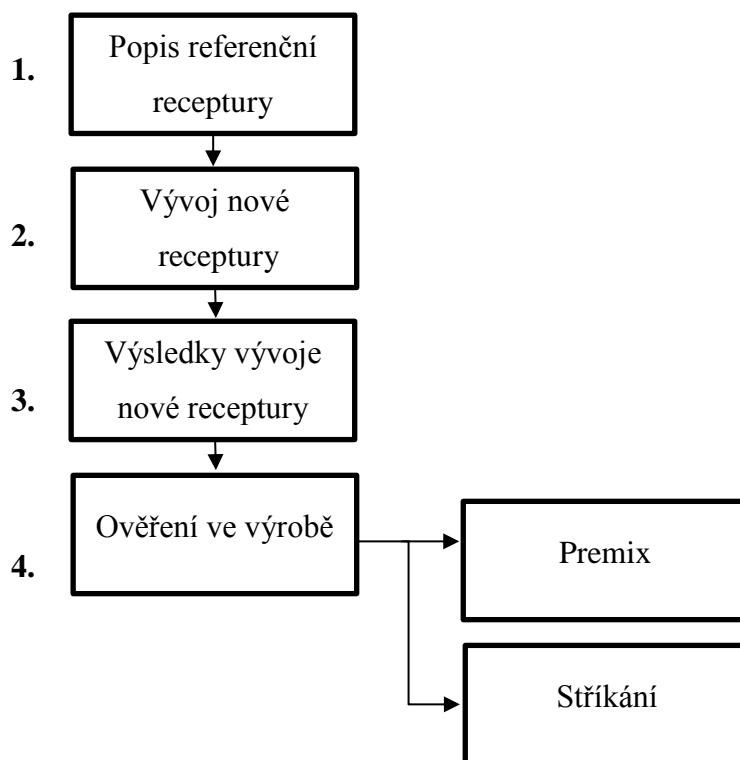
Obrázek 32 Zkušební lis [20]

9.5.5 Klimatická komora

Automaticky nebo ručně ovládaná komora umožňující dosáhnout a zároveň udržovat vnitřní teplotu 70 ± 5 °C a 20 ± 2 °C. Dále uložit nejméně 8 vzorků ve vodě. Opatřená vlastním ventilačním systémem zajistit proudění vzduchu $1 \pm 0,1$ m/s nebo výměnu vzduchu 30 ± 3 krát za hodinu. [23]

10 Praktická část

V praktické části byla použita základní receptura firmy Dako Brno, spol. s r.o, kterou jsem dále modifikoval. Praktická část byla rozdělena do 4 částí:



10.1 Popis referenční receptury

Byly použity veškeré suroviny používané ve výrobě, které byly postupně doplňovány nebo nahrazovány.

Tabulka 8 Základní referenční receptura

referenční receptura (REF1)	
Surovina	
Cement	ano
Kamenivo	ano
Voda	ano
Odpěňovací přísada	ano
Polymerní přísada	ano
Sklenné vlákno	ano

10.1.1 Cement

Bílý portlandský cement vyšších pevností. Podrobné informace o parametrech cementu nejsou v této práci uvedeny.

10.1.2 Písek

Pytlovaný křemičitý sušený jemnozrnný písek s obsahem SiO_2 nad 98 %. Další parametry kameniva nejsou v této práci uvedeny.

10.1.3 Skelná vlákna

Alkalirezistentní skelná vlákna. Další parametry skelných vláken nejsou v této práci uvedeny.

10.1.4 Polymerní přísada

Ve výrobě používali ve slabé dávce polymerní přísadu. Polymerní přísada byla ve výrobě používána pro zlepšení soudržnosti s podkladem, tedy s formou. Další parametry této polymerní přísady nejsou v této práci uvedeny.

10.1.5 Odpěňovač

Odpěňovač se dává v nízkých dávkách z důvodu odstranění nežádoucího vzduchu.

10.2 Vývoj nové receptury

10.2.1 Požadavky

Na základě požadavku a specifikace firmy Dako Brno, spol. s r.o. byly navrženy receptury, kde receptury vychází z konzultace, kde byly specifikovány požadavky na výsledné vlastnosti čerstvého a ztvrdlého sklovláknobetonu. Úkolem praktické části bylo navrhnout sklovláknobeton, který by vyhovoval technologii stříkání, měl konstantní zpracovatelnost a danou pevnost v tahu za ohybu. Tedy:

ČB:

- Zpracovatelnost po dobu nejméně 30 minut
- Objemová hmotnost 2200-2300 kg/m^3

ZB:

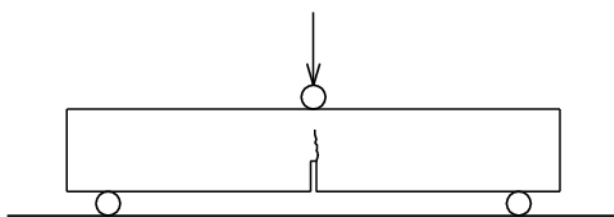
- Objemová hmotnost 1800-2100 kg/m³
- Pevnost v tahu za ohybu minimálně 20 MPa
- Mrazuvzdornost
- Pohledovost

10.2.2 Zkušební tělesa

Pro zjednodušení ověření vlastností na zkušebních tělesech byla zvolena výroba trámečků 160 × 40 × 40 mm, po získání požadovaných vlastností se výroba přesunula do výrobního závodu. Zde byly vyrobeny desky, technologií premix a technologií stříkáním, ze kterých se dále vyřízla zkušební tělesa dle normy ČSN EN 1170-5. Na těchto tělesech se opět provedly potřebné zkoušky. Výsledky získané z těles z výroby se porovnaly s výsledky na trámečcích vytvořené v laboratorních podmínkách.

10.2.3 Normy

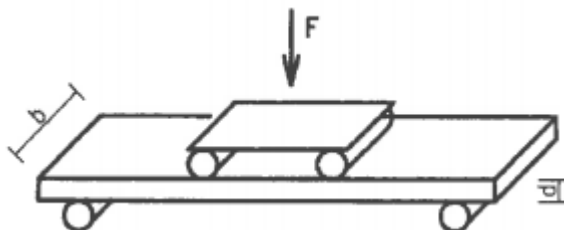
Na tělesech 160 × 40 × 40 mm byla provedena zpracovatelnost dle normy ČSN EN 1170-1: Stanovení tekutosti matrice "Zkouška tekutosti". Objemová hmotnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350-6. Zkouška čerstvého betonu – objemová hmotnost. Objemová hmotnost ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12350-7. Pevnost v tahu za ohybu byla odzkoušena dle ČSN EN 12390-5 (tříbodový ohyb) a v tlaku dle ČSN EN 12390-3.



Obrázek 33 Tříbodový ohyb

Poté byla vytvořena normová tělesa podle ČSN EN 1170-5 technologií premix. Na těchto tělesech byla provedena pevnost v tahu za ohybu dle ČSN EN 1170-5: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu "Úplná zkouška pevnosti v tahu za ohybu" (čtyřbodový ohyb). Odolnost vůči klimatickým změnám dle ČSN EN 12467+A1: Vláknocementové ploché desky –

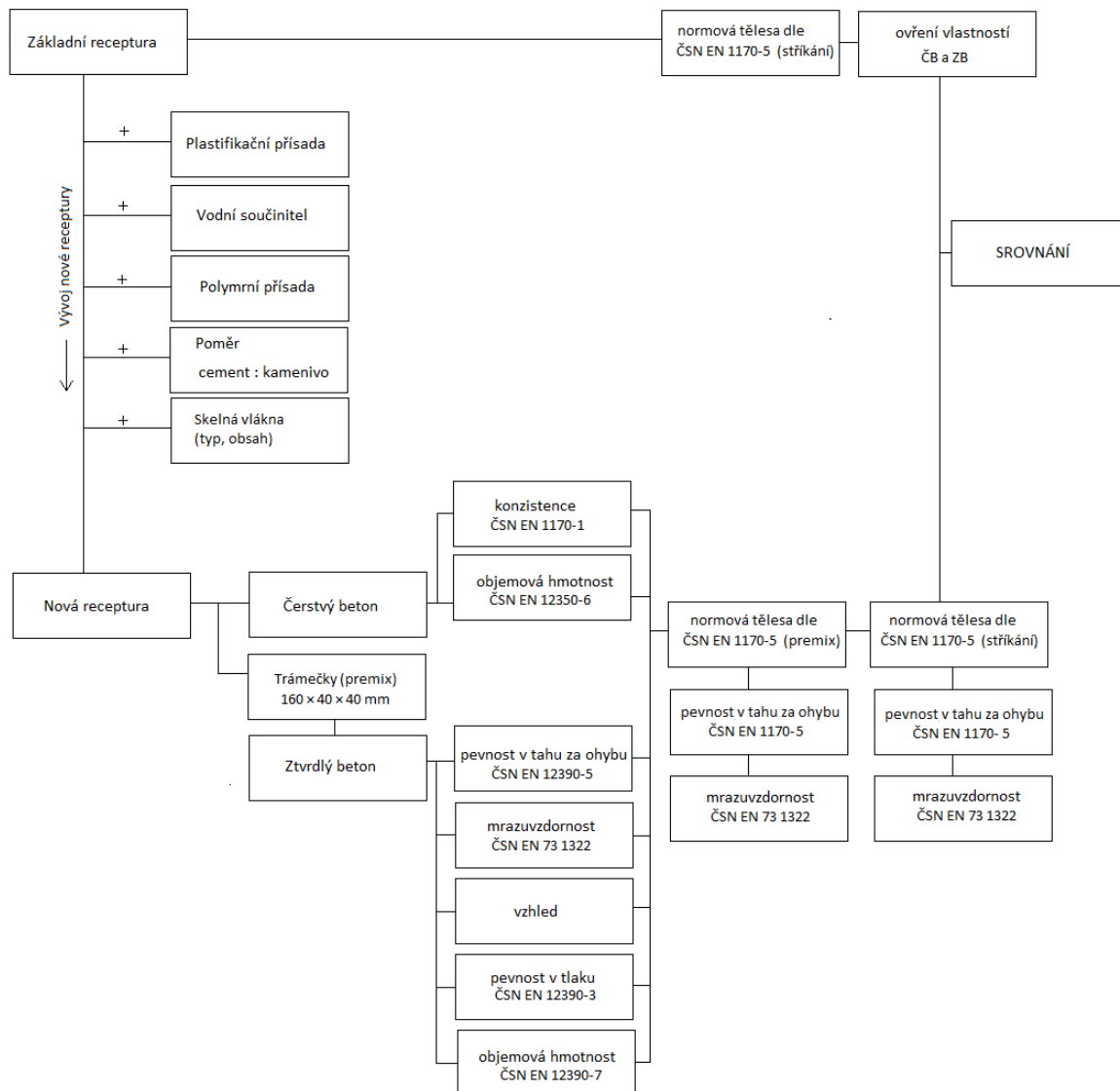
specifikace výrobků a zkušební metody byla nahrazena normou ČSN 73 1322: Stanovení mrazuvzdornosti betonu.



Obrázek 34 Čtyřbodový ohyb [22]

Nakonec byla vytvořena zkušební tělesa dle ČSN EN 1170-5 technologií stříkáním. Kde byly provedeny stejné zkoušky jako na tělesech vytvořené technologií premix.

10.2.4 Metodika práce



10.2.5 Specifikace nových surovin

Receptura byla nově modifikována o nové materiály. Nově byly odzkoušeny 3 druhy plastifikačních přísad. Používaná polymerní přísada byla nahrazena ve větší dávce jinou formou polymerní přísady.

10.2.5.1 Polymerní přísady

Polymerní přísady se lišily hlavně v obsahu pevných částic, pH, hustotě a vzhledu. Ačkoliv se jednalo o stejné formy polymeru, každá polymerní přísada měla odlišné chování při míchání (zejména konzistenci). Celkově byly odzkoušeny 4 druhy polymerních přísad od 3 různých výrobců.

Tabulka 9 Tabulky specifikací použitých polymerních přísad

A	
pH	6-9
Obsah pevných částic	30-56 %
Hustota	1,01-1,03 kg/dm ³

B	
pH	6-9
Obsah pevných částic	30-56 %
Hustota	1,01-1,03 kg/dm ³

C	
pH	6-9
Obsah pevných částic	30-56 %
Hustota	1,01-1,03 kg/dm ³

D	
pH	6-9
Obsah pevných částic	30-56 %
Hustota	1,01-1,03 kg/dm ³

10.2.5.2 Plastifikační přísady

Plastifikační přísady byly celkově odzkoušeny 3 různé formy do 2 výrobců.

Tabulka 10 Tabulky specifikací použitých plastifikačních přísad

č. 1	
Forma	neuvedeno
pH	6-7
Obsah chloridů	<0,1 %
Obsah alkálií	<6,0 %
Hustota	1,07-1,20 kg/dm ³

č. 2	
Forma	neuvedeno
pH	6-7
Obsah chloridů	<0,1 %
Obsah alkálií	<6,0 %
Hustota	1,07-1,20 kg/dm ³

č. 3	
Forma	neuvedeno
pH	6-7
Obsah chloridů	<0,1 %
Obsah alkálií	<6,0 %
Hustota	1,07-1,20 kg/dm ³

č. 4	
Forma	neuvedeno
pH	6-7
Obsah chloridů	<0,1 %
Obsah alkálií	<6,0 %
Hustota	1,07-1,20 kg/dm ³

10.2.6 Receptury

Tabulka 11 Receptury

	surovina							
receptura	cement [kg/m ³]	písek [kg/m ³]	voda [l]	plast. přísada [%]	pol. přísada [%]	skelné vlákno [%]	odp. přísada [%]	těleso
REF1	ano	ano	ano	-	-	ano	ne	Premix, 160 × 40 × 40 mm
BEZ1 ⁽²⁾	ano	ano	ano	ano	-	ano	ne	
BEZ2	ano	ano	ano	ano	-	ano	ne	
A1	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A2	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A3	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A4	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A5	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	
A6	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A7	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A8	ano	ano	ano	ano	ano	ano ⁽¹⁾	ne	
B1	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
D1	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
C1	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	
A3 ^(P)	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	Premix, výřez z desky
BEZ2 ^(P)	ano	ano	ano	-	-	ano	ne	
REF1 ^(P)	ano	ano	ano	-	-	ano	ne	
A3 ^(S)	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	Stříkání, výřez z desky
BEZ2 ^(S)	ano	ano	ano	-	-	ano	ne	
REF1 ^(S)	ano	ano	ano	-	-	ano	ne	

⁽¹⁾ jemnější skelná vlákna, ⁽²⁾ ošetřováno ve vodním uložení

^(P) tělesa vytvořená technologií premix ve výrobě, výřez z desky (forma)

^(S) tělesa vytvořená technologií stříkání ve výrobě, výřez z desky

10.2.7 Metodika výroby zkušebních těles

Nejprve byly dávkovány všechny tekuté suroviny. Následovalo míchání na nízké otáčky.



Obrázek 35 Pohled na všechny tekuté přísady spolu s kamenivem

Poté byl přidán písek spolu s cementem. Míchání na vysoké otáčky.



Obrázek 36 Míchání směsi na vysoké otáčky

Ihned po namíchání cementové matrice se přistoupilo ke zkoušení konzistence v čase a to 0 min, 15 min, 30 min, 45 min a 60 min.



Obrázek 37 Zkouška tekutosti dle ČSN EN 1170-1

Po namíchání cementové matrice a odzkoušení konzistence byla přidána skelná vlákna v dávce 2 %. Vlákna byla vkládána do směsi průběžně, tak jako by jej dávkovalo rozdružovací zařízení. Průběžně byla vkládána proto, aby se omezilo shlukování vláken.



Obrázek 38 Přídavek skelných vláken

Následovalo lehké promíchání na nízké otáčky, tak aby nedošlo k poškození struktury nebo zlomení skelného vlákna.



Obrázek 39 Hotový čerstvý sklovláknobeton

Po změření objemové hmotnosti čerstvého betonu následovalo plnění do ocelových forem $40 \times 40 \times 160$ mm ve 3 vrstvách a zhutnění dřevěným dusadlem, každá vrstva 25 rázy.



Obrázek 40 Naplněné formy

10.2.7.1 Zkušební tělesa

Na ztvrdlém betonu po 7 a 28 dnech se změřila objemová hmotnost v zatvrdlém stavu a následně se tělesa podrobila zkoušení pevnosti v tahu za ohybu.



Obrázek 41 Tělesa po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu s vlákny (nahore), bez vláken (dole)

Po pevnosti v tahu za ohybu se na zlomcích odzkoušela pevnost v tlaku.



Obrázek 42 Tělesa po zkoušce pevnosti v tlaku s vlákny (vpravo), bez vláken (vlevo)

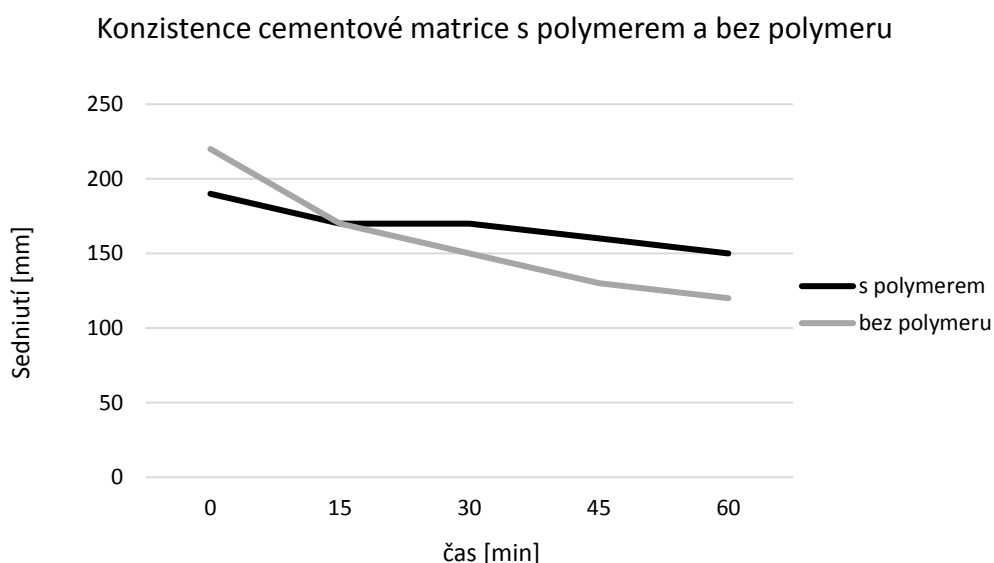
10.3 Výsledky vývoje nové receptury

Při zpracování návrhu byly respektovány požadavky firmy Dako Brno, spol. s r.o. s nejnovějšími poznatky z oblasti stříkaného sklovláknobetonu.

10.3.1 Konzistence

Nejprve bylo ověřeno, jak polymerní přísada ovlivňuje zpracovatelnost.

Graf 1 Vliv polymerní přísady na konzistenci



Závěr: Z výsledků výše bylo zřejmé, že polymerní přísada napomáhá ke zlepšení zpracovatelnosti. Na začátek byla zvolena nižší dávka polymerní přísady.

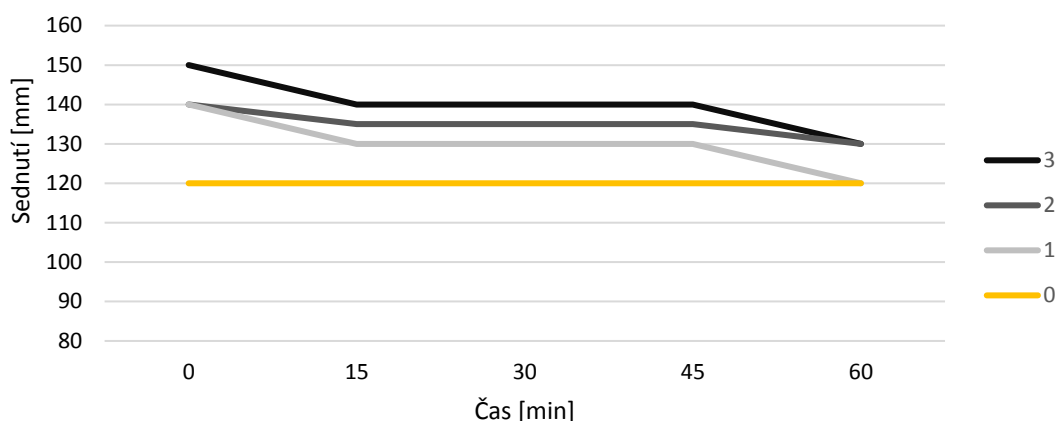
10.3.1.1 Forma plastifikační přísady

V prvním kroku bylo potřeba redukovat záměsovou vodu v referenční receptuře firmy Dako spol s.r.o.

Nejprve byla zvolena vhodná forma plastifikační přísady. Ke zkoušení byly zvoleny tři formy plastifikačních přísad – liginosulfonát, melamin-sulfonát a polykarboxylát. V takových dávkách, aby bylo zajištěno podobného plastifikačního účinku. Z aktuálního vodního součinitele jsem jej nejdříve snížil na nižší hodnotu. Na cementových kaších se sledovaly vlastnosti potřebné při výrobní technologii v závodu. Tedy změna konzistence

v čase, lepidlost a schopnost směsi protéci šnekovým podavačem. Zpracovatelnost byla zkoušena dle normy ČSN EN 1170-1: Stanovení tekutosti matrice "Zkouška tekutosti" v modifikované verzi. Zpracovatelnost se zaznamenávala s 10 rázy na strásacím stolku k lepšímu pochopení chování směsi při ukládání.

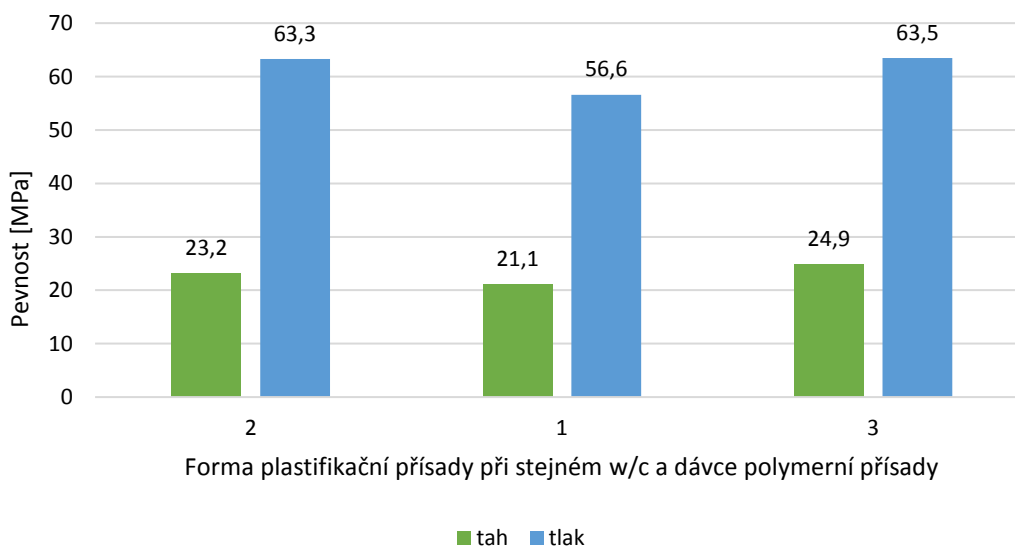
Graf 2 Konzistence s různými plastifikačními přísady
matrici



Z těchto matric byly dále vyrobeny trámečky $160 \times 40 \times 40$ mm spolu s přidavkem 2 % skelných vláken. Které se podrobily zkoušce pevnosti v tahu za ohybu a tlaku.

Graf 3 Mechanické vlastnosti s různými plastifikačními přísady

Vliv změny formy plastifikační přísady na pevnost v tlaku a tahu
za ohybu



S plastifikační přísadou č. 1 nebyla redukce vody dostatečná. Plastifikační přísada č. 2, svým tmavěhnědým odstínem ovlivňovala konečný vzhled prvku. Proto je její použití nevhodné.



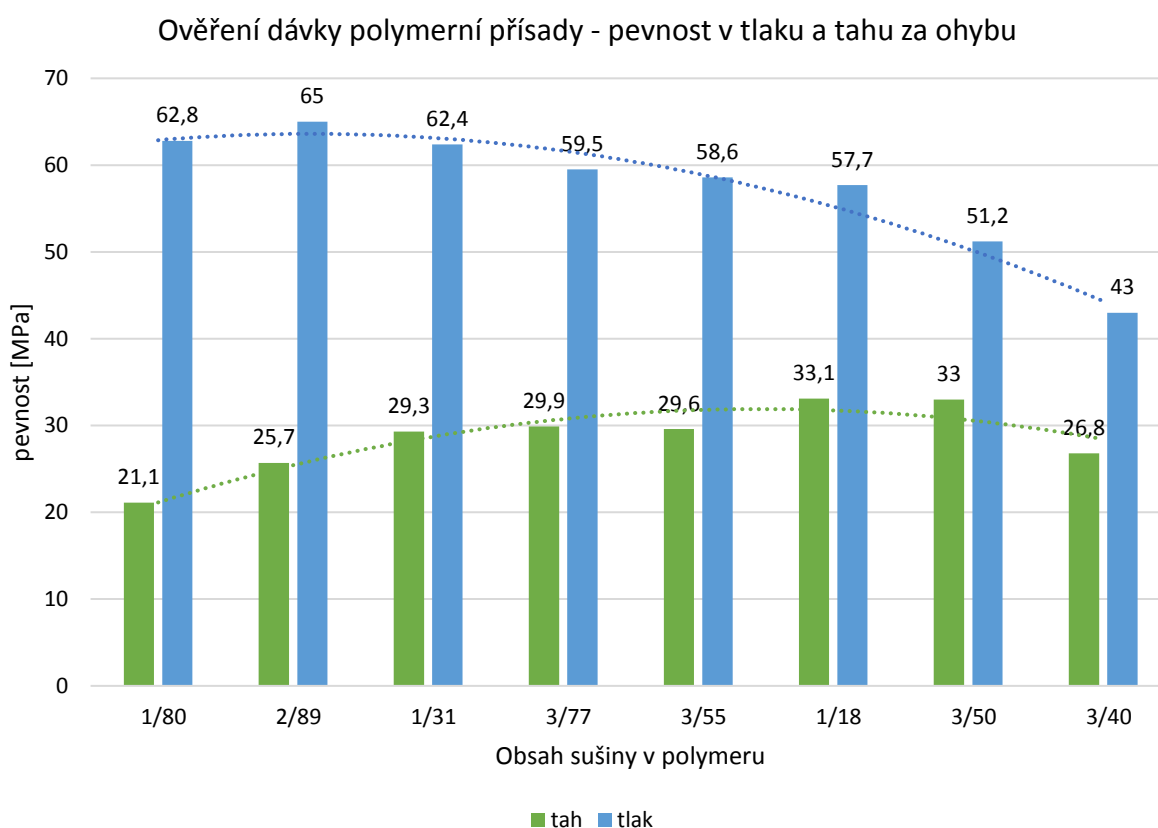
Obrázek 43 Plastifikační přísada č. 2 (vpravo), těleso (vlevo nahoře)

Závěr: Po tomto ověření byla jako nejlepší varianta zvolena forma platifikační přísady. Již nyní bylo jasné, že dávka plastifikační přísady a vodní součinitel není na konečné hranici.

10.3.2 Dávka polymerní přísady

Dávka polymerní přísady byla stanovena metodou postupného přidávání polymerní přísady v závislosti na mechanických vlastnostech (pevnost v tlaku a pevnost v tahu za ohybu). Byla tedy vytvořena receptura s polymercementovou matricí. Postupné přidávání polymerní přísady napomáhá zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, avšak vysoké dávky naopak pevnosti v tahu snižují. U pevnosti v tlaku tento efekt přichází poněkud dříve. Obsah sušiny je uveden ve vybraném poměru a převeden do zlomku.

Graf 4 Mechanické vlastnosti v závislosti na dávce polymerní přísady



Závěr: Ideální dávka polymerní přísady, při maximálních ohybových vlastnostech a ucházející pevnosti v tlaku, byla stanovena na 1/18.

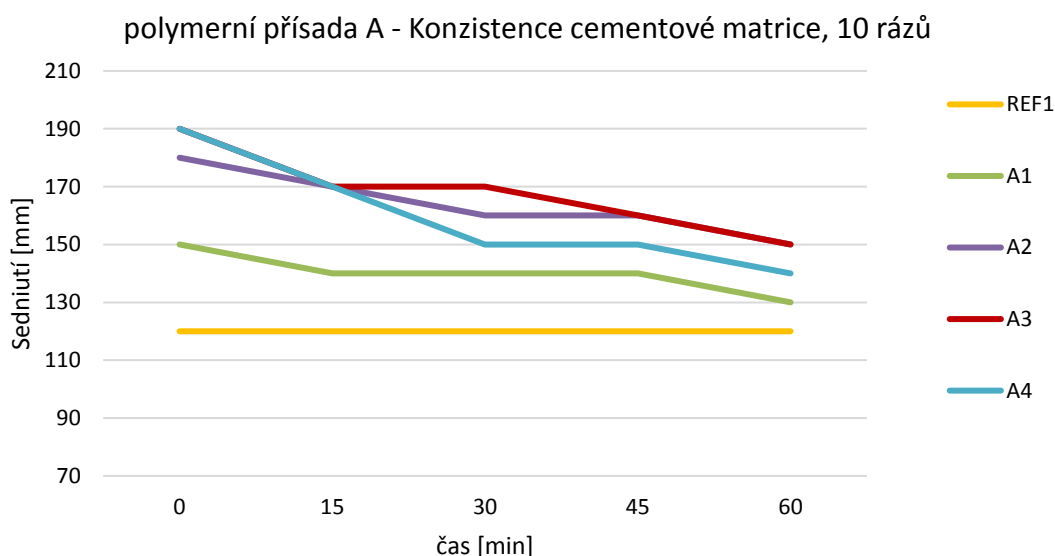
10.3.3 Dávka plastifikační a druh polymerní přísady, vodní součinitel

Když již byla stanovena forma plastifikační přísady a dávka polymerní přísady. Mohlo se přistoupit ke zkoušení různých druhů komerčních i nekomerčních polymerních přísad s různým obsahem pevných částic. Jednalo se vždy o akrylovou termoplastickou kopolymerní disperzi ve vodě. A následně doladit konzistenci potřebnou k výrobě stříkaného sklovláknobetonu. Tedy snížit vodní součinitel a zvýšit dávku plastifikační přísady. Všechny receptury byly porovnány mezi sebou a s receptury bez přídavku polymerní přísady, které zrály ve vodě a na vzduchu v laboratorním prostředí. U nejlépe vycházející receptury bude dále upravován poměr mezi cementem a pískem a přidáván odpěňovač.

10.3.3.1 Polymerní přísada A

Polymerní přísada A s kombinací s plastifikační přísadou č. 3. Ve srovnání s konzistencí referenční receptury.

Graf 5 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou

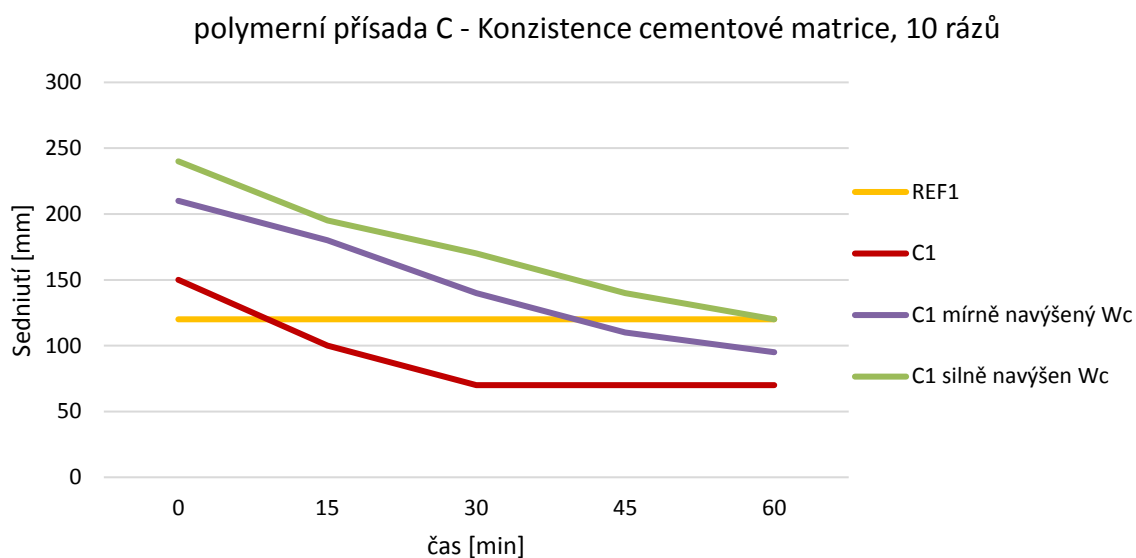


Závěr: Tato polymerní přísada přispívá ke zlepšení zpracovatelnosti směsi, a tak splňuje požadavky. Dle těchto výsledků byla zvolena neoptimálnější dávka plastifikační přísady. V dalších kombinacích byla tedy zkoušena pouze tato dávka.

10.3.3.2 Polymerní přísada C

Polymerní přísada C v kombinaci s plastifikační přísadou č. 3. Ve srovnání s konzistencí referenční receptury.

Graf 6 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou

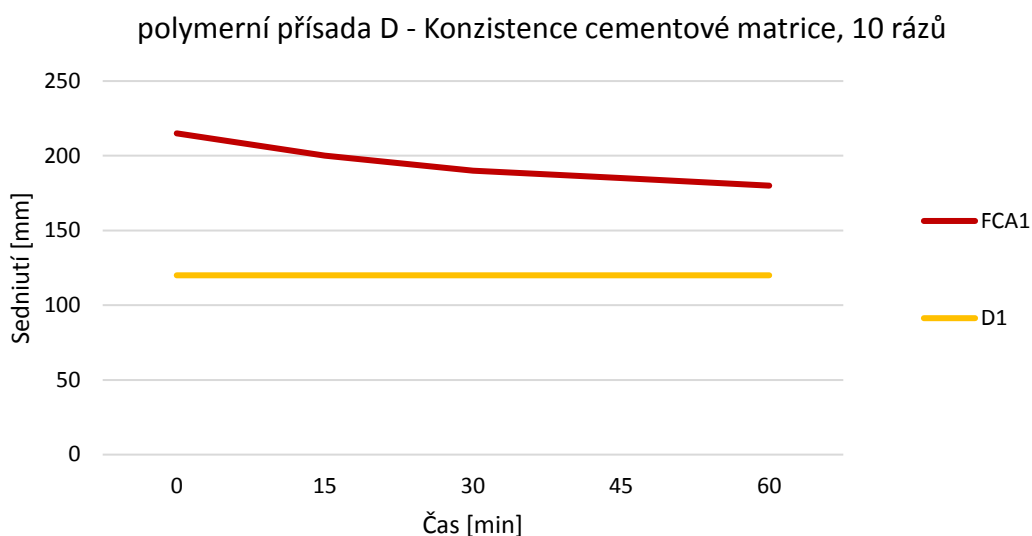


Závěr: Je vidět, že polymerní přísada C výrazně snižuje zpracovatelnost. Ve výrobě je tak zcela nepoužitelná. Dávka plastifikační přísady v kombinaci s vybraným vodním součinitelem se ukázala jako nejvhodnější. Dále byla tedy zkoušena pouze tato kombinace.

10.3.3.3 Polymerní přísada D

Polymerní přísada D byla zkoušena v kombinaci s plastifikační přísadou č. 4. Z důvodu zajištění spolupůsobení přísad a proto, aby přísady byly dodávány jako celek od jednoho výrobce. Tato kombinace se také ukázala jako vhodná.

Graf 7 *Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou*

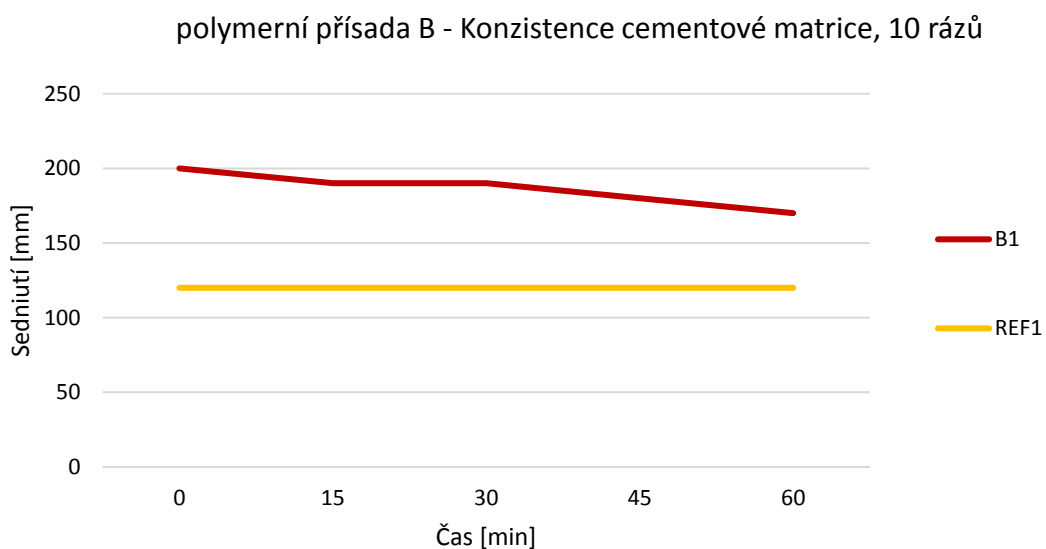


Závěr: Tato kombinace se také ukázala jako vhodná. Plastifikační účinek byl silnější než s plastifikační přísadou č. 3.

10.3.3.4 Polymerní přísada B

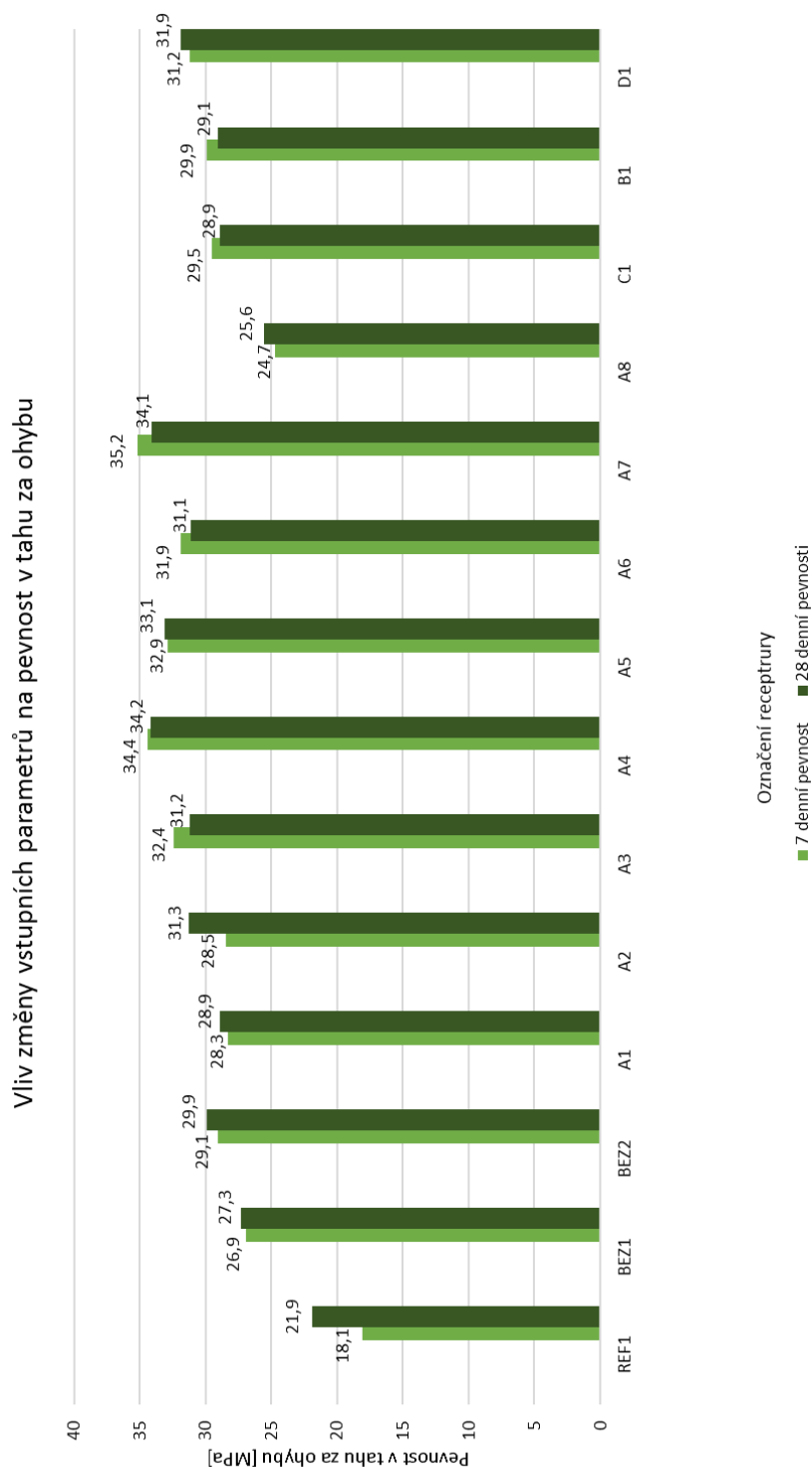
Polymerní přísada B byla zkoušena v kombinaci s plastifikační přísadou č. 3.

Graf 8 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou



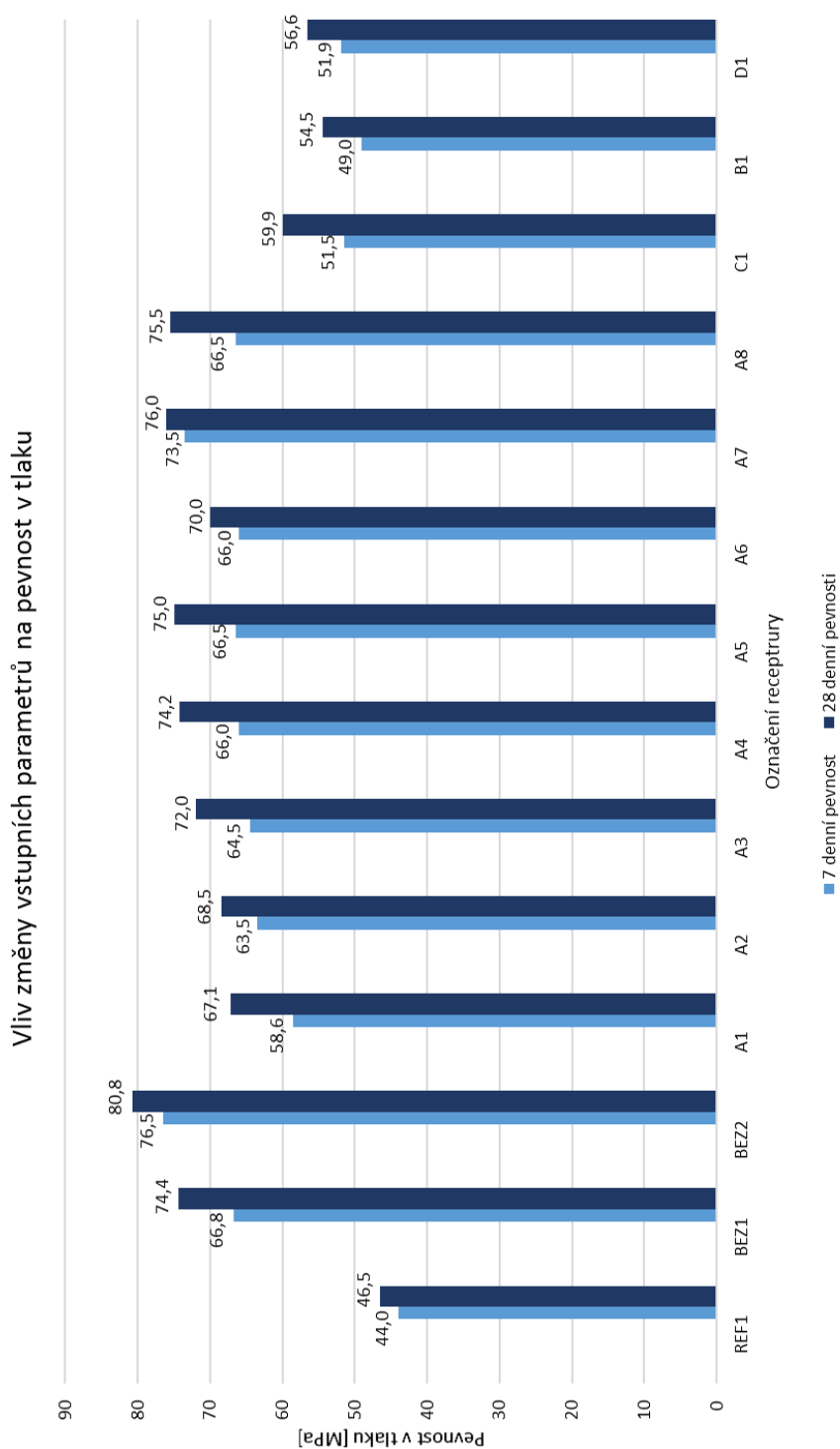
Závěr: Tato kombinace se také ukázala jako vhodná.

Graf 9 Vliv vstupních parametrů na mechanické vlastnosti - pevnost v tahu za ohybu



Závěr: Největší pevnost v tahu za ohybu vykazuje receptura s použitím polymerní přísady A. Přídavek odpěňovací přísady a zvýšený poměr cementu vůči písku, ještě tyto pevnosti navýšil. U receptury A3 došlo k 45% navýšení pevnosti v tahu za ohybu, oproti referenční receptuře REF1.

Graf 10 Vliv vstupních parametrů na mechanické vlastnosti - pevnost v tlaku



Závěr: Přídavek polymerní přísady snižuje pevnosti v tlaku. Nejvyšší pevnost v tlaku vykazuje receptura bez polymerní přísady. Nejnižší pokles zaznamenala receptura s navýšeným množstvím cementu. Receptura A3 byla vyhodnocena jako nejlepší. Proto byla dále upravována pouze tato receptura.

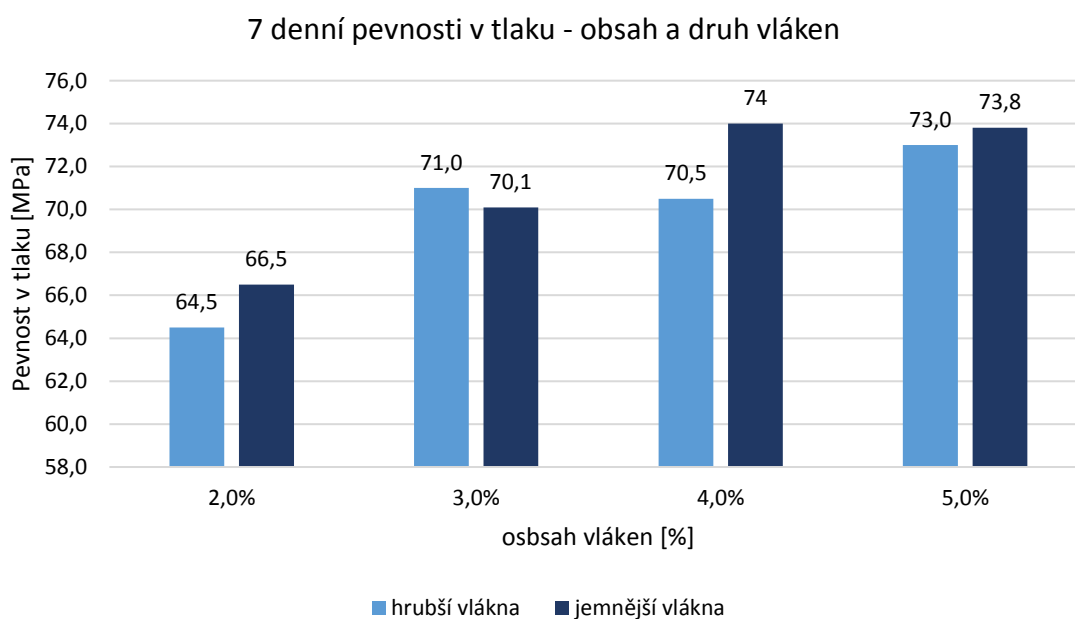
10.3.3.5 Druh a dávka skelného vlákna

Dále bylo na receptuře A3 odzkoušena jemnější skelná vlákna. Tedy skelná vlákna s menším tex. Vlákná byla dávkována ve stejné hmotnostní dávce jako hrubší vlákna. Porovnání proběhlo s vlákny standardně používané ve výrobě.

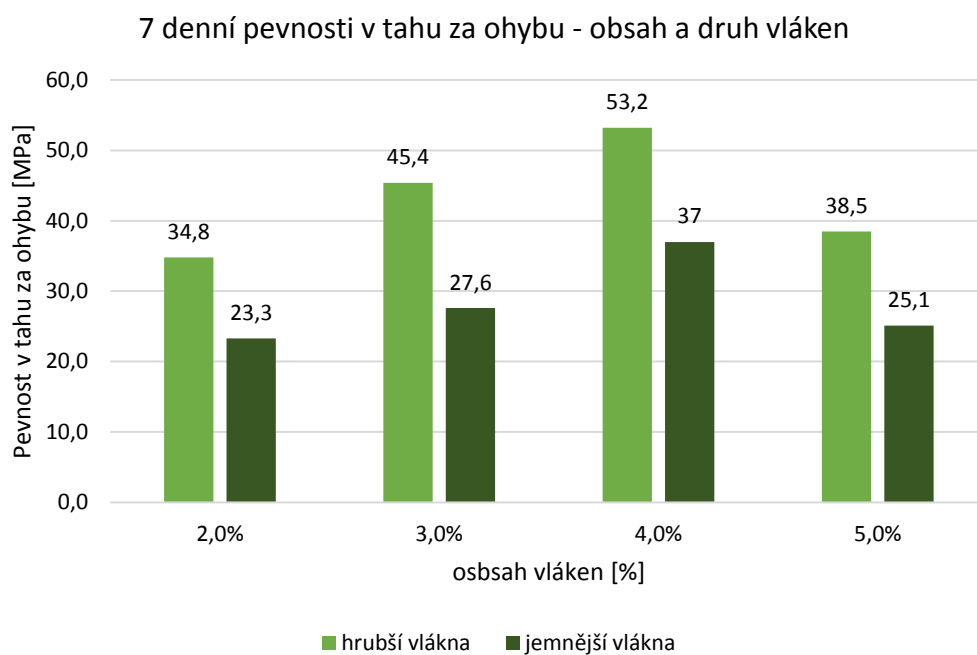
Tabulka 12 Parametry zkoušených skelných vláken

vlákna	Tex (roving)	Tex (vlákno)	Hustota [g/cm ³]	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [MPa]	Délka [mm]
Jemná	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno
Hrubá	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno

Graf 11 Vliv změny dávky skelných vláken na mechanické vlastnosti - pevnost v tlaku



Graf 12 Vliv změny dávky skelných vláken na mechanické vlastnosti - pevnost v tahu za ohybu



Závěr: Vyšší pevnosti v tlaku vykazovala receptura s jemnějšími vlákny, naopak tomu bylo u pevnosti v tahu za ohybu.

10.4 Ověření výsledků ve výrobě

Nejlepší možné kombinace byly po konzultaci s firmou předány do výroby. Referenční receptura byla ještě odzkoušena bez přídavku stávající polymerní přísady v normovém vodním uložení (REF1.1) a v normovém uložení na vzduchu (REF1.2), tedy:

- A3
- BEZ2

Tyto receptury byly srovnány s referenční recepturou:

- REF1
- REF1.1
- REF1.2

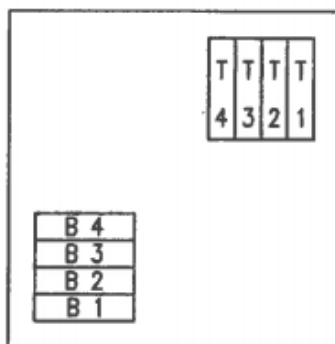
Z těchto receptur byly vyrobeny zkušební tělesa, metodou premix a metodou stříkání. Ve výrobě se odzkoušela zpracovatelnost ve stříkací pistoli, konzistence a lepidlost. Poté se ověřili vlastnosti ztvrdlého sklovláknobetonu, tedy pevnost v tahu za ohybu a mrazuvzdornost. Na těchto tělesech byly odzkoušeny pouze 7denní pevnosti.

10.4.1 Ověření receptur technologií premix

V tomto ověření bylo dávkováno také 2 % vláken.

10.4.1.1 Zkušební tělesa

Na toto ověření byly vyrobeny speciální dřevěné formy, tak aby simulovaly výřezy dle normy ČSN EN 1170-5.

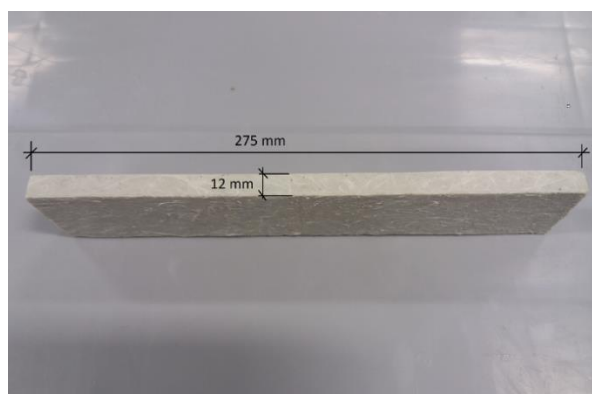


Obrázek 44 Způsob výřezu zkušebních těles [22]

Šířka zkušebních těles musí být 50 ± 2 mm a délka je závislá na tloušťce prvku. Závislost je uvedena v tabulce 12.

Tabulka 13 Délka zkušebních těles v závislosti na tloušťce [22]

Tloušťka d [mm]	< 6,7	6,8-10,0	10,1-12,5	> 12,6
Délka l [mm]	160	225	275	325



Obrázek 45 Rozměry zkušebních těles

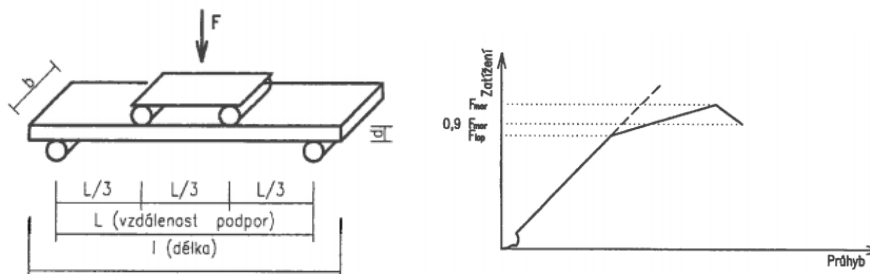


Obrázek 46 Sada zkušebních těles

Závěr: Při výrobě těchto těles se lépe pracovalo s recepturou, která obsahovala plastifikační přísadu a polymerní přísadu. Z důvodu větší soudržnosti cementové matrice. Pro technologii premix je tedy vhodnější než původní referenční receptura REF1.

10.4.1.2 Postup zkoušky pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu byla odzkoušena čtyřbodově dle normy ČSN EN 1170-5.



Obrázek 47 Umístění zkušebních těles do zkušebního zařízení a zátěžový diagram [22]

Rozmístění podpor záleží na délce zkušebního tělesa. Závislost uvedena v tabulce 13.

Tabulka 14 Vzdálenost podpor v závislosti na délce těles [22]

Délka l [mm]	160	225	275	325
Vzdálenost podpor L [mm]	135	200	250	300

Po odzkoušení se z diagramu porušení zaznamenávají 2 síly a to F_{LOP} (zatěžovací síla na mezi úměrnosti) a F_{MOR} (zatěžovací síla při porušení) a k tomu příslušné průhyby Δ_{LOP} a Δ_{MOR} . Dále se dopočítají potřebné veličiny (poměrné deformace ε a napětí σ). [22]

$$\varepsilon_{MOR} = \frac{108}{23} \cdot \frac{\Delta_{MOR} \cdot d}{L^2}$$

$$\varepsilon_{LOP} = \frac{108}{23} \cdot \frac{\Delta_{LOP} \cdot d}{L^2}$$

$$\sigma_{MOR} = \frac{F_{MOR} \cdot L}{b \cdot d^2}$$

$$\sigma_{LOP} = \frac{F_{LOP} \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Rovnice 1 Vztahy pro výpočet poměrné deformace a napětí [22]

10.4.1.3 Vyhodnocení zkoušky pevnosti v tahu za ohybu

Z uvedených vzorců byla dopočítaná pevnost v tahu za ohybu na mezi úměrnosti a při porušení (označováno jako LOP a MOR).

Tabulka 15 Vyhodnocení zkoušky v tahu za ohybu dle normy ČSN EN 1170-5

receptura	7denní LOP [MPa]	7denní MOR [MPa]
A3	8,1	14,4
BEZ2	7,0	13,0
REF1	6,1	10,6
REF1.1	7,4	12,2
REF1.2	7,1	10,3

Závěr: Největší pevnost v tahu za ohybu vykazuje receptura s použitím polymerní přísady A. U receptury A3 došlo k 30% navýšení pevnosti v tahu za ohybu, oproti referenční receptuře REF1.

10.4.1.4 Postup zkoušky mrazuvzdornost

Princip metody dle normy ČSN 73 1322 spočívá ve střídavém zmrazování a rozmrazování vodou nasycených zkušebních těles. Po konzultaci bylo zvoleno 50 zkušebních zmrazovacích cyklů. Jeden zmrazovací cyklus sestává ze 4h zmrazování (-15 až -20 °C nebo -18 až -23 °C) a z 2h rozmrazování ve vodě při teplotě +20 °C. Po skončení každé zmrazovací etapy se příslušná sada zkouší na pevnost v tahu za ohybu, stejným způsobem se vyzkouší referenční sada bez působení mrazu. Jako výsledek zkoušky se uvádí zjištěný úbytek hmotnosti zkoušených zmrazovaných trámců v % hmotnosti, pevnost betonu v tahu za ohybu a součinitel mrazuvzdornosti betonu (poměr aritmetického průměru pevnosti zmrazovaných a referenčních zkušebních těles v tahu za ohybu). [28]

10.4.1.5 Vyhodnocení zkoušky mrazuvzdornosti

Tabulka 16 Vyhodnocení zkoušky mrazuvzdornosti dle normy ČSN 73 1322

receptura	MOR nezmražená sada [MPa]	MOR zmražená sada [MPa]	Součinitel mrazuvzdornosti [%]
A3	14,4	18,1	126,1
BEZ2	13,0	14,4	123,8
REF1	10,6	11,2	111,5
REF1.1	12,2	13,6	104,9
REF1.2	10,3	12,7	111,0

Závěr: Všechny vzorky, které simulovaly výřez z desky, byly podrobeny zkoušce mrazuvzdornosti na 50 zmrazovacích cyklů dle normy ČSN 73 1322, a vyhověly. U všech receptur došlo k navýšení ohybových pevností po zkoušce mrazuvzdornosti. Avšak u referenční receptury došlo k nejnižšímu navýšení odolnosti vůči mrazu, dosahovala součinitele mrazuvzdornosti 104,9 %. Nejlépe vyhověla receptura A3 se součinitelem mrazuvzdornosti 126,1 %. Doporučuji přidavek polymerní přísady do sklovláknobetonových výrobků.

10.4.2 Ověření receptur technologií stříkání

V tomto ověření bylo dávkováno již 5 % vláken. Co se týče lepivosti, nevznikali problémy. Nedocházelo k lepení na hutnicí válečky při hutnění. Ale celkově se směs chovala příliš soudržně. Z pistole místo „rozstříku“ matrice vycházely její shluky a nedocházelo pak k obalení skelného vlákna.



Obrázek 48 Pohled na plochu po nástřiku

Ani po snaze změnit ve stříkací jednotce tlak vzduchu, nedošlo k rozdužení matrice. Po zhutnění takto nastříkané plochy, se neutvořila rovnoměrná vrstva.



Obrázek 49 Plocha po zhutnění

Závěr: Zvolený poměr plastifikační přísady a vody nebyl zvolen vhodně pro technologii stříkání. Doporučuji zmenšit dávku plastifikační přísady a zvýšit dávku záměsové vody. Další možností je zkusit změnit trysku stříkací jednotky.

10.5 Souhrnné výsledky

10.5.1 Premix, trámečky, tříbodový ohyb

Tabulka 17 Souhrnné výsledky receptury technologie premix, trámečky 160 × 40 × 40 mm

receptura	Objemová hmotnost ČB [kg/m ³]	Objemová hmotnost ZB [kg/m ³]	7denní pevnost v tlaku [MPa]	28denní pevnost v tlaku [MPa]	7denní pevnost v tahu za ohybu [MPa]	28denní pevnost v tahu za ohybu [MPa]	těleso
REF1	2160	1960	44,0	46,5	18,1	21,9	Premix, 160 × 40 × 40 mm
BEZ1 ⁽¹⁾	2280	2090	66,8	74,4	27,4	28,3	
BEZ2	2310	2180	76,5	80,8	29,1	29,9	
A1	2270	2090	58,6	67,1	28,3	28,9	
A2	2280	2100	63,5	68,5	28,5	31,3	
A3	2280	2110	64,5	72,0	32,4	30,0	
A4	2270	2090	66,0	74,2	34,4	34,2	
A5	2300	2120	66,5	75,0	32,9	33,1	
A6	2270	2070	66,0	70,0	31,9	31,1	
A7	2310	2120	73,5	76,0	35,2	34,1	
A8	2250	2100	66,5	75,5	24,7	25,6	
C1	2260	2090	51,5	59,9	29,5	28,9	
B1	2270	2080	49,0	54,5	29,9	29,1	
D1	2370	2090	51,9	56,6	31,2	31,9	

⁽¹⁾ objemová hmotnost stanovena po nasáknutí vodou

10.5.2 Technologie premix, výřezy z desky, čtyřbodový ohyb

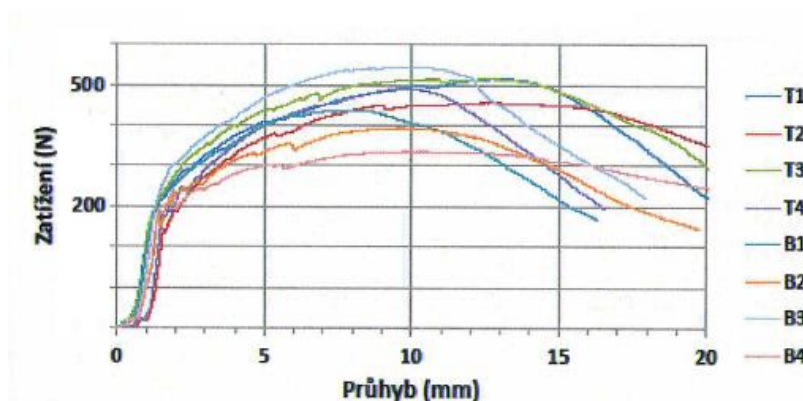
Tabulka 18 Souhrnné výsledky receptury technologie premix, výřezy $275 \times 50 \times 12$ mm

receptura	Objemová hmotnost ZB [kg/m ³]	7denní LOP [MPa]	7denní MOR [MPa]	MOR zmražená sada [MPa]	Součinitel mrazuvzdornosti [%]	Premix, $275 \times 50 \times 12$ mm
A3 ^(P)	2140	8,1	14,4	18,1	126,1	
BEZ2 ^(P)	2210	7,0	13,0	14,4	123,8	
REF1 ^(P)	1980	6,1	10,6	11,2	111,5	
REF1.1 ^(P)	2050	7,4	12,2	13,6	104,9	
REF1.2 ^(P)	2150	7,1	10,3	12,7	111,0	

10.5.3 Technologie stříkání, výřezy z desky, čtyřbodový ohyb

Vzhledem k nepovedenému pokusu o vytvoření zkušební desky technologií stříkání receptur s plastifikační přísadou, neproběhly žádné ověřovací zkoušky. Pouze jsou uvedeny výsledky referenční receptury REF1, z které se podařilo tělesa vytvořit.

Graf 13 Grafické vyhodnocení pevnosti v tahu za ohybu na výřezech z desky receptury REF1



Tabulka 19 Vyhodnocení zkoušky v tahu za ohybu dle normy ČSN EN 1170-5

receptura	28denní LOP [MPa]	28denní MOR [MPa]
REF1 ^(S)	6,5	17,2

10.6 Diskuze

Odstín plastifikační přísady je nutno volit v závislosti na požadovanou bělost výsledného výrobku. Je nutné se předem vyvarovat již světle hnědým plastifikačním přísadám. Ke stejnému efektu docházelo i u polymerních přísad. Transparentní polymerní přísady bělost umocňovaly, naopak nažloutlé polymerní přísady bělost snižovaly.

Přídavek polymerní přísady napomáhá ke zlepšení zpracovatelnosti a konzistence v čase. A to již při nižších dávkách sušiny.

Byla zvolena nejlepší varianta plastifikační přísady spolu v kombinaci s daným vodním součinitelem. Pro technologii stříkání se tento poměr neukázal jako ideální. Doporučuji zmenšit dávku plastifikační přísady a zvýšit dávku záměsové vody. Z důvodu snížení soudržnosti. Další možností je zkusit změnit trysku stříkací hlavičky či lépe sjednotit s tlakem vzduchu, který pohání cementovou matici a skelné vlákno při roztřiku. V tomto ohledu navrhuji další směr výzkumu. Avšak pro technologii premix, se tato receptura ukázala jako vhodnější než stávající referenční receptura. Vyšší soudržnost cementové matrice napomáhala k jednodušší aplikaci a výrobě zkušebních těles.

Na technologii premix je doporučená dávka 3 % skelných vláken, vyšší dávky jsou obtížně zpracovatelné. Při vhodné konzistenci, jak je z výsledků patrné, jsme tuto hranici schopni překonat, a to na dávku až 4 % skelných vláken, kde pořád docházelo k rostoucí tendenci u pevnosti v tahu za ohybu. Avšak u dávek nad 4 % již pevnosti klesají. Při vyšších dávkách skelného vlákna klesala směrodatná odchylka výsledků.

Ideální dávka polymerní přísady, při maximálních ohybových vlastnostech a ucházející pevnosti v tlaku, byla stanovena na 1/18 sušiny. Ze zkoušených polymerních přísad byly vyhovující A, B a D. Naopak nevyhovující byla polymerní přísada C. Polymerní přísada C nesplnila požadované vlastnosti a negativně působila na zpracovatelnost cementové matrice v čase. Již po 15 min zpracovatelnost klesla na nežádoucí hodnotu.

Objemová hmotnost po přidání plastifikační přísady a snížení vodního součinitele roste. Nejvyšší objemovou hmotnost dosahuje receptura BEZ2 z důvodu absence polymerní přísady. S rostoucí dávkou skelných vláken mírně roste objemová hmotnost výsledného výrobku. A to z důvodu hustoty skelných vláken, která se pohybuje okolo 2680 kg/m³.

Na zkušebních tělesech $160 \times 40 \times 40$ mm vyrobené technologií premix a odzkoušené na třibodový ohyb, největší pevnosti v tahu za ohybu, tedy 32,4 MPa, vykazovala receptura s použitím polymerní přísady A. S přidavkem odpěňovací přísady pevnost v tahu za ohybu mírně narostla, zhruba o 0,5 MPa. V oblasti technologie výroby sklovláknobetonu doporučuji použití odpěňovací přísady, obvykle je použito vysokorychlostní míchání při výrobě cementové matrice, tedy zvýšené riziko obsahu nežádoucího vzduchu. Zvýšený poměr cementu vůči písku, ještě pevnosti v tahu za ohybu navýšil na hodnotu 35,2 MPa. Zvýšený poměr cementu v matrici je další možností, jak navýšit ohybové i tlakové pevnosti. U receptury A3 došlo k 40% navýšení pevnosti v tahu za ohybu, oproti referenční receptuře REF1, která dosahovala pevnosti v tahu za ohybu 18,1 MPa. Pevnosti v tahu za ohybu po 7 dnech se mírně lišili od pevností v tahu za ohybu po 28 dnech, lze tvrdit, že zkušební tělesa po 7 dnech dosahují 100% pevnosti v tahu za ohybu. Z tohoto důvodu jsou v diskuzi srovnány pouze pevnosti po 7 dnech.

Přídavek polymerní přísady výrazně snižuje pevnosti v tlaku. Nejvyšší pevnost v tlaku 76,5 MPa vykazuje receptura BEZ2, tedy bez přidavku polymerní přísady. S přidavkem polymerní přísady v dávce 1/18 pevných podílů, byl pokles od 12 MPa po 27,5 MPa. Nejnižší pokles byl zaznamenán u receptury s navýšeným množstvím cementu. Použití jemnějších vláken (nižší tex) pozitivně působilo na tlakové pevnosti, naopak tomu bylo u pevnosti v tahu za ohybu. U pevnosti v tlaku byl po 28 dnech nárůst nezanedbatelný, proto jsou zde srovnány pouze 28denní pevnosti v tlaku.

Na zkušebních tělesech, která simulovala výřez z desky, vyrobené technologií premix a odzkoušené na čtyřbodový ohyb, největší pevnosti v tahu za ohybu na mezi porušení (MOR), vykazovala také receptura s použitím polymerní přísady A, a to 14,4 MPa. U receptury A3 došlo k 30% navýšení pevnosti v tahu za ohybu, oproti referenční receptuře REF1, která dosahovala pevnosti v tahu za ohybu na mezi porušení (MOR) 10,6 MPa. Na těchto tělesech byly zaznamenány i pevnosti v tahu za ohybu na mezi úměrnosti (LOP). Receptura A3 dosahovala této pevnosti 8,1 MPa, referenční REF1 dosahovala 6,1 MPa. Tedy navýšení ohybových pevností došlo i u pevnosti v tahu za ohybu na mezi úměrnosti (LOP). Lze přepokládat, že u technologie stříkání s 5 % skelnými vlákny dosáhneme nad požadovanou hranici 20 MPa (MOR) s recepturou A3.

Můžeme si všimnout, že na tělesech vytvořené technologií premix a vyzkoušené na tříbodový ohyb, byly zaznamenány o zhruba 50 % větší pevnosti v tahu za ohybu, než tomu bylo na zkušebních tělesech, které simulovaly výřezy z desky, vytvořené technologií premix a odzkoušené na čtyřbodový ohyb. Doporučuji tedy další sady zkušebních těles určené k vývoji nové receptury ihned zkoušet na čtyřbodový ohyb. Ohybová zkouška s čtyřbodovým podepřením popisuje daleko přesněji chování sklovláknobetonu a podrobí zkoušený prvek maximálnímu ohybovému momentu v celé jeho vnitřní třetině a je tak možné zjistit nejslabší místo ve větší části prvku. Zkouška tříbodového ohybu může sloužit pouze k orientačnímu posouzení, protože podrobí zkoušený prvek maximálnímu ohybovému momentu pouze uprostřed prvku.

Všechny vzorky, které simulovaly výřez z desky, byly podrobeny zkoušce mrazuvzdornosti na 50 zmrazovacích cyklů dle normy ČSN 73 1322, a vyhověly. U všech receptur došlo k navýšení ohybových pevností po zkoušce mrazuvzdornosti. Avšak u referenční receptury došlo k nejnižšímu navýšení odolnosti vůči mrazu, dosahovala součinitele mrazuvzdornosti 104,9 %. Nejlépe vyhověla receptura A3 se součinitelem mrazuvzdornosti 126,1 %. Doporučuji přidavek polymerní přísady do sklovláknobetonových výrobků pro zvýšení odolnosti vůči mrazu.

11 Závěr

Tato diplomová práce pojednává o složité problematice týkající se technologie výroby sklovláknobetonu. O změně vstupních surovin, které je nutno podstoupit, aby finální výrobek dosahoval požadovaných mechanických vlastností, které si žádá zahraniční ale i tuzemský trh.

Výrobní technologie premix má řadu výhod. Nižší výrobní pořizovací náklady na vybavení nebo snažší způsob výroby. Odpadá potřebná odborná způsobilost a zkušenost obsluhy stříkací jednotky. U této technologie se doporučuje dodatečné vibrační zařízení nebo samozhutnitelné směsi.

Zdali výrobce chce být konkurenceschopný a rychle vyrábět (zejména plošné prvky), musí podstoupit určité nevýhody technologie stříkání a postupně odstranit problémy při nanášení (rozstříku) cementové matrice. A hledat tak kompromis mezi konzistencí cementové matrice a mechanickými vlastnostmi konečného prvku. Je nutná odborná způsobilost a zkušenost obsluhy stříkací jednotky. A však nepotřebuje již dodatečnou vibraci. Doporučuji se ve výrobě věnovat obou zmíněným technologiím.

Postupné přidávání polymerní přísady napomáhá zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, avšak vyšší dávky naopak pevnosti v tahu snižují. U pevnosti v tlaku tento efekt přichází dříve. Polymerní přísady se podílejí na zlepšení odolnosti vůči mrazu.

Sklovláknobetonový prvek nemusí dodržovat žádné krytí z důvodu karbonace. Ale je zapotřebí nanést nejdříve první vrstvu bez vláken (mlha) v přibližné tloušťce 1 mm. Z důvodu výsledné pohledovosti prvku. A však tato nevyztužená první vrstva může mít vliv na snížení ohybových vlastností, a je tedy nutno s touto skutečností počítat.

Polymerní přísady mají velký vliv na konzistenci čerstvého sklovláknobetonu. Některé polymerní přísady na konzistenci působí negativně jiné naopak pozitivně. Vždy je zapotřebí toto odzkoušet. Také je nutno odzkoušet vzájemné spolupůsobení plastifikační přísady spolu s polymerní přísadou. Přísady nemusí být v interakci.

12 Zdroje

- [1] ASOCIACE SKLÁŘSKÉHO A KERAMICKÉHO PRŮMYSLU. [online]. 2017 [cit. 2017-11-01] Dostupné z: <<http://www.askpcr.cz/o-skle/jak-se-sklo-vyrabi/>>
- [2] SKLOCEMENT BENEŠ S.R.O. *Skleněná vlákna Cem-FIL do cementových hmot* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <<http://www.sklocement.cz/sklenena-vlakna-cem-fil/>>.
- [3] L. BODNÁROVÁ, Ph.D.; *Kompozitní materiály*, Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia, Brno 2007
- [4] HAVEL Composites CZ s.r.o. [online]. 2005 [cit. 2017-11-01]. HAVEL Composites. Dostupné z: <<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>>.
- [5] M. FIALA, *Chování lubrikační emulze a pryskyřice ve výrobě minerální plsti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 46 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Ptáček, Ph.D.
- [6] J. J. BEAUDOIN, *Handbook of fiber-reinforced concrete: principles properties, developments and applications*. Park Ridge, N.J., U.S.A.: Noyes Publications, c1990. ISBN 0815512368.
- [7] MALINA – Safety s.r.o. *Zdravotní rizika způsobená částicemi v ovzduší*. [online]. [cit. 2017-12-01]. Dostupné z: <<http://www.malina-safety.cz/zdravotni-ri-zika/zpusobena-casticemi-v-ovzdusi/>>
- [8] Soubor PDF. A. LAJČÍKOVÁ, M. HORNYCHOVÁ; *Azbest v ovzduší a legislativní zajištění ochrany zdraví*, Státní zdravotní ústav Praha. [online]. 2014 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z WWW: <www.khsjih.cz/soubory/ostatni/azbest-2011.pdf>
- [9] Materiály poskytnuté firmou Dako Brno, spol. s r.o.; *Výrobní manuál*, Brno 2017

- [10] Factors that Affect the Strength of GFRC Pieces. Concrete decor [online]. London: Jeffrey Girard, 2012 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <<https://www.concretedecor.net/decorativeconcretearticles/vol-12-no-4-mayjune-2012/success-with-concrete-countertops-factors-that-affect-the-strength-of-gfrc-pieces/>>
- [11] I. D. PETER Y. CHE; Fibre Technologies International Ltd, Bristol, UK Power-Sprays Ltd, Bristol, UK; *Self-compacting premix*, 2009 [cit. 2017-12-07]
- [12] J. SOLANKI, B. VISHVAKARMA. A Study on Glass Fibre as an Additive in Concrete to Increase Concrete Tensile Strength. In: RESEARCHGate [online]. Indie. GRA - GLOBAL RESEARCH ANALYSIS, 2015, s. 2 [cit. 2017-12-08]. ISSN 2277. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/281178445>
- [13] J. KRÁTKÝ, J. TRTÍK, K. VODIČKA, J. *Drátkobetonové konstrukce*, 1. vydání, Praha, ČKAIT, 1999, 108 s, edice Betonové stavitelství, ISBN 80-86364- 00-3
- [14] J. VETCHÝ. *Přísady do betonů a malt I* [online]. 2015 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <<https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-i/>>.
- [15] Dry Polymers versus Wet Polymers for GFRC: A detailed analysis and recommendation. THE CONCRETE COUNTERTOP INSTITUTE [online]. London: Jeff Girard, 2015 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.concretecountertopinstitute.com/blog/2015/04/dry-polymers-versus-wet-polymers/>
- [16] Glass fiber. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Glass_fiber>
- [17] J. VETCHÝ. *Přísady do betonů a malt II* [online]. 2015 [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <<https://www.mct.cz/soubor/prisady-do-betonu-i/>>.
- [20] Production equipment. Power-Sprays Ltd [online]. London [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.power-sprays.com/grc-gfrc-production-equipment/>

- [21] ČSN EN 1170-1: Prefabrikované betonové výrobky - Zkušební metoda pro sklovláknobeton - Část 1: Stanovení tekutosti matrice "Zkouška tekutosti", Český normalizační institut, Praha 1999
- [22] ČSN EN 1170-5: Prefabrikované betonové výrobky - Zkušební metoda pro sklovláknobeton - Část 5: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu "Úplná zkouška pevnosti v tahu za ohybu", Český normalizační institut, Praha 1999
- [23] ČSN EN 1170-8: Zkušební metoda pro sklovláknobeton - Část 8: Zkoušení trvanlivosti zkouškou v klimatických cyklech, Český normalizační institut, Praha 2009
- [24] ČSN EN 12390-3: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, Český normalizační institut, Praha 2009
- [25] ČSN EN 12390-5: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles, Český normalizační institut, Praha 2009
- [26] ČSN EN 12350-6: Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost, Český normalizační institut, Praha 2009
- [27] ČSN EN 12390-7: Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu, Český normalizační institut, Praha 2009
- [28] ČSN 73 1322: Stanovení mrazuvzdornosti betonu, Český normalizační institut, Praha 1968
- [29] TKP, kapitola 18. *Betonové konstrukce a mosty*. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, 2016.
- [30] ČSN EN 934-2+A1: Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Část 2: Přísady do betonu - Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem, Český normalizační institut, Praha 2012
- [31] P. ROVNANÍK; *Přednášky teoretické základy speciálních stavebních hmot*, Brno 2017

13 Seznam obrázků, tabulek, grafů a rovnic

13.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Obkladové dílce ze sklovláknobetonu (realizace Dako) [9]	10
Obrázek 2 Vlákná bez ochrany proti alkáliím (vlevo) a vlákna s ochranou proti alkáliím po několika letech v betonu (vpravo) [2]	14
Obrázek 3 Tažení kontinuálního vlákna [2]	15
Obrázek 4: schéma výroby skelných vláken [4]	16
Obrázek 5 Schéma reakce alkoxysilanu s povrchem skleněných vláken [5]	17
Obrázek 6 Síť, roving, stříž [9]	17
Obrázek 7 Znázornění velikosti částic, které je možné zachytit v těle [7]	18
Obrázek 8 Velikost skelného vlákna ve srovnání s vláknem azbestovým [2]	18
Obrázek 9 Realizace Dako -	20
Obrázek 10 Srovnání PP a skelných vláken s ohledem na modulu pružnosti [2]	21
Obrázek 11 Překlenutí trhliny vlákny	22
Obrázek 12 Diagram porušení sklovláknobetonu [22]	22
Obrázek 13 Zjednodušená základní jednotka lignosulfonanu [31]	26
Obrázek 14 Princip elektrostatického odpuzování [31]	26
Obrázek 15 Princip stérického odpuzování [31]	27
Obrázek 16 Prvek s hydrofobizační přísadou (vpravo), prvek bez hydrofobizační přísady (vlevo) [17]	27
Obrázek 17 Prvek s odpěňovací přísadou (vlevo), prvek bez odpěňovací přísady (vpravo) [17]	28
Obrázek 18 Technologie premix (lití) [20]	31
Obrázek 19 Postup nanášení GFRC směsi a způsob hutnění	33
Obrázek 20 Stříkácí jednotka připevněná na naprogramovatelném robotu [10]	33
Obrázek 21 Stříkácí jednotka na výrobu GFRC [20]	34
Obrázek 22 postu stříkání (Nahoru/Dolů; Zleva/Doprava) [9]	35
Obrázek 23 Výztužná skelná textilie [10]	35
Obrázek 24 možné uspořádání výrobní haly	36

Obrázek 25 Míchadlo na výrobu GFRC [20]	38
Obrázek 26 Stříkáci jednotka [20]	38
Obrázek 27 Vibrační zařízení [20]	39
Obrázek 28 Dávkovací zařízení [20]	39
Obrázek 29 Hutnící válečky [20]	40
Obrázek 30 Ocelové hladítko [20]	40
Obrázek 31 Sada ke zkoušce sednutím [20]	41
Obrázek 32 Zkušební lis [20]	42
Obrázek 33 Tříbodový ohyb	45
Obrázek 34 Čtyřbodový ohyb [22]	46
Obrázek 35 Pohled na všechny tekuté přísady spolu s kamenivem	51
Obrázek 36 Míchání směsi na vysoké otáčky	51
Obrázek 37 Zkouška tekutosti dle ČSN EN 1170-1	52
Obrázek 38 Přídavek skelných vláken	52
Obrázek 39 Hotový čerstvý sklovláknobeton	53
Obrázek 40 Naplněné formy	53
Obrázek 41 Tělesa po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu s vlákny (nahore), bez vláken (dole)	54
Obrázek 42 Tělesa po zkoušce pevnosti v tlaku s vlákny (vpravo), bez vláken (vlevo)	54
Obrázek 43 Plastifikační přísada č. 2 (vpravo), těleso (vlevo nahore)	57
Obrázek 44 Způsob výřezu zkušebních těles [22]	67
Obrázek 45 Rozměry zkušebních těles	68
Obrázek 46 Sada zkušebních těles	68
Obrázek 47 Umístění zkušebních těles do zkušebního zařízení a zátěžový diagram [22] [22]	69
Obrázek 48 Pohled na plochu po nástřihu	72
Obrázek 49 Plocha po zhutnění	72

13.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání vlastností různých typů skelného vlákna [3]	13
---	----

Tabulka 2 Chemické složení alkalivzdorných skelných vláken	14
Tabulka 3 Dávkování skelných vláken dle konstrukce [3]	15
Tabulka 4 Porovnání klíčových vlastností cementové matrice a skelných vláken [3] ...	21
Tabulka 5 Standartní parametry křemičitého písku [9]	23
Tabulka 6 Srovnání vlastností prvku z GFRC vytvořeného technologií premix a stříkáním	31
Tabulka 7 Zařazení do kategorií dle rozlití [21]	41
Tabulka 8 Základní referenční receptura	43
Tabulka 9 Tabulky specifikací použitých polymerních přísad	48
Tabulka 10 Tabulky specifikací použitých plastifikačních přísad.....	49
Tabulka 11 Receptury	50
Tabulka 12 Parametry zkoušených skelných vláken	65
Tabulka 13 Délka zkušebních těles v závislosti na tloušťce [22]	68
Tabulka 14 Vzdálenost podpor v závislosti na délce těles [22].....	69
Tabulka 15 Vyhodnocení zkoušky v tahu za ohybu dle normy ČSN EN 1170-5	70
Tabulka 16 Vyhodnocení zkoušky mrazuvzdornosti dle normy ČSN 73 1322	71
Tabulka 17 Souhrnné výsledky receptury technologie premix, trámečky 160 × 40 × 40 mm.....	73
Tabulka 18 Souhrnné výsledky receptury technologie premix, výřezy 275 × 50 × 12 mm	74
Tabulka 19 Vyhodnocení zkoušky v tahu za ohybu dle normy ČSN EN 1170-5	74

13.3 Seznam grafů

Graf 1 Vliv polymerní přísady na konzistenci	55
Graf 2 Konzistence s různými plastifikačními přísady	56
Graf 3 Mechanické vlastnosti s různými plastifikačními přísady	56
Graf 4 Mechanické vlastnosti v závislosti na dávce polymerní přísady	58
Graf 5 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou	59

Graf 6 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou	60
Graf 7 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou	61
Graf 8 Vliv dávky plastifikační přísady a vodního součinitele na konzistenci v čase s danou polymerní přísadou	62
Graf 9 Vliv vstupních parametrů na mechanické vlastnosti - pevnost v tahu za ohybu.	63
Graf 10 Vliv vstupních parametrů na mechanické vlastnosti - pevnost v tlaku	64
Graf 11 Vliv změny dávky skelných vláken na mechanické vlastnosti - pevnost v tlaku	65
Graf 12 Vliv změny dávky skelných vláken na mechanické vlastnosti - pevnost v tahu za ohybu	66
Graf 13 Grafické vyhodnocení pevnosti v tahu za ohybu na výřezech z desky receptury REF1	74

13.4 Seznam rovnic

Rovnice 1 Vztahy pro výpočet poměrné deformace a napětí [22]	69
--	----

Použité zkratky

SVB sklovláknobeton

GFRC sklovláknobeton (z anglického glass fiber reinforced concrete)

LOP pevnost v tahu za ohybu na mezi úměrnosti v MPa

MOR pevnost v tahu za ohybu na mezi pevnosti v MPa